



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

BATERIOVÉ SYSTÉMY PRO DISTRIBUČNÍ SÍTĚ

BATTERY SYSTEMS FOR DISTRIBUTION NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Robin Filip

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Paar, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Robin Filip

ID: 195297

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Bateriové systémy pro distribuční síť

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Způsoby akumulace elektrické energie
2. Přehled bateriových systémů
3. Přehled nasazených bateriových systémů v distribučních sítích
4. Zjednodušený návrh velikosti bateriového systému pro zvolenou obec

DOPORUČENÁ LITERATURA:

IEEE, Studie zaměřené na bateriové systémy

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 27.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Martin Paar, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

FILIP, Robin. *Bateriové systémy pro distribuční sítě*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119142>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Bateriové systémy pro distribuční sítě* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 27. 5. 2019

.....

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou bateriových úložišť v distribučních sítích. V práci jsou představeny způsoby akumulace elektrické energie s důrazem na technologie bateriových systémů. Následně jsou nastíněny možnosti využití těchto systému v síti. Práce také obsahuje přehled současných a plánovaných projektů a popis legislativního prostředí dané oblasti v České republice. Praktická část se věnuje návrhu kapacity bateriového úložiště s ohledem na vývoj spotřeby elektrické energie, elektromobility a rozšíření fotovoltaických elektráren.

KLÍČOVÁ SLOVA: akumulace elektrické energie; bateriová úložiště; využití bateriových úložišť; elektromobilita; fotovoltaické elektrárny; vykryvání špiček

ABSTRACT

Bachelor's thesis is focused on problematics of battery storage systems in distribution network. The thesis introduces methods of electrical energy storage with emphasis on battery storage systems. It also deals with possibilities of using these systems in the network. Additionally, an overview of current and planned projects with a description of the legislative environment of the area in the Czech Republic is included. The practical part deals with the design of battery storage capacity regarding to development of power consumption, electromobility as well as photovoltaics.

KEY WORDS: electrical energy accumulation; battery energy storage systems; electromobility; photovoltaics; peak shaving

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Paarovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, nespočet konzultací, nadšení pro problematiku a mnoho podnětných návrhů.

Také děkuji Martinu Štefkovi za podporu a vhled do problematiky fotovoltaiických elektráren a Tomáši Šáchovi za přípravu a zpracování dat od společnosti E.ON.

V Brně dne: 27. 5. 2019

.....

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD	14
2 ZPŮSOBY AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	15
2.1 MECHANICKÁ AKUMULACE	16
2.1.1 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY (PSH).....	16
2.1.2 TLAKOVÁ AKUMULACE (CAES).....	18
2.1.3 SETRVAČNÍKY (FES)	19
2.2 ELEKTROMAGNETICKÁ AKUMULACE	21
2.2.1 KONDENZÁTORY A SUPERKONDENZÁTORY.....	21
2.2.2 SUPRAVODIVÉ CÍVKY (SMES).....	21
2.3 ELEKTROCHEMICKÁ AKUMULACE	22
2.3.1 ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY	22
2.3.2 POWER-TO-GAS (P2G).....	23
2.4 TERMÁLNÍ ÚLOŽIŠTĚ (TES).....	23
3 TECHNOLOGIE BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ	25
3.1 BATERIOVÁ ÚLOŽIŠTĚ (BESS).....	26
3.1.1 OLOVĚNÉ BATERIE.....	26
3.1.2 LITHIUM-IONTOVÉ BATERIE.....	26
3.1.3 SODÍKOVO-SÍROVÉ (NAS) BATERIE	28
3.1.4 NIKL-KADMIOVÉ (NiCd) BATERIE.....	28
3.1.5 DALŠÍ TECHNOLOGIE BESS	28
3.2 PRŮTOKOVÁ BATERIOVÁ ÚLOŽIŠTĚ (FBESS)	29
3.2.1 ZINKO-BROMIDOVÁ PRŮTOKOVÁ BATERIE (ZNBR).....	30
3.2.2 VANADIOVÁ REDOXNÍ BATERIE (VRB)	30
3.2.3 POLYSULFIDOVÁ BROMOVÁ PRŮTOKOVÁ BATERIE (PSB)	30
3.3 VEHICLE-TO-GRID AKUMULACE (V2G).....	31
4 FUNKCE BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ V DISTRIBUČNÍCH SÍTÍCH	32
4.1 AKUMULACE ENERGIE.....	33
4.2 POKRYTÍ ŠPIČKOVÉ SPOTŘEBY ELEKTRINY.....	34
4.3 ZVYŠOVÁNÍ KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE	34
4.3.1 REGULACE FREKVENCE	35
4.3.2 KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU.....	35
4.4 TOČIVÁ REZERVA.....	35
4.5 EFEKTIVNÍ PŘIPOJENÍ NESTÁLÝCH ZDROJŮ	36
4.6 VYROVNÁVÁNÍ VÝKONU MENŠÍCH SÍTÍ	36
4.7 ZÁLOŽNÍ ZDROJ ENERGIE.....	36

5 SOUČASNÉ PROJEKTY BESS.....	37
5.1 BESS VE SVĚTĚ	37
5.2 BESS V ČESKÉ REPUBLICE.....	38
6 LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PŘIPOJENÍ BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ	40
7 NÁVRH VELIKOSTI BESS PRO POKRYTÍ ŠPIČKOVÉHO ZATÍŽENÍ.....	42
7.1 NÁVRH BESS PRO POKRYTÍ ŠPIČKOVÉHO ODBĚRU OBCE MORAVANY	43
7.2 VYHODNOCENÍ VÝVOJE OBCE MORAVANY.....	53
7.3 VYHODNOCENÍ POTENCIÁLU ELEKTROMOBILITY V OBCI MORAVANY	55
7.4 VYHODNOCENÍ POTENCIÁLU FOTOVOLTAIKY V OBCI MORAVANY	62
7.5 SIMULACE VLIVU PROSTŘEDÍ NA KAPACITU BESS	68
7.5.1 V0	69
7.5.2 V0A.....	71
7.5.3 V1	73
7.5.4 V1A.....	75
7.5.5 V1B	77
7.5.6 V2	80
7.6 VYHODNOCENÍ SIMULACÍ.....	83
7.7 BATERIE PRO SEZÓNÍ AKUMULACI.....	85
8 ZÁVĚR.....	86
POUŽITÁ LITERATURA	88

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Rozdělení způsobů akumulace energie na základě fyzikálního principu [98].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2-2 Porovnání technologie skladování založené na kapacitě praktické instalace [98].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2-3 Schématický nákres přečerpávací vodní elektrárny [53]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-4 PSH Dlouhé stráně [88]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-5 Akumulace elektrické energie stlačeným vzduchem, projekt RICAS [2]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2-6 Schématické uspořádání FES [98]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2-7 Uspořádání SMES [98]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 2-8 Systém tepelného úložiště pro větrnou [67]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3-1 Závislost množství uložené energie na rozměrech a váze baterie [54]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3-2 Ilustrace základních prvků a principu funkce Li-Ion článku [19]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 3-3 Schéma vanadiové redoxní průtokové baterie [67]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3-4 Myšlenka propojení elektromobilu se sítí V2G [102]</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 4-1 Výkon a doba akumulace pro různé aplikace [117]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 4-2 Průběh spotřeby brutto ve dni maxima a minima v ČR v roce 2017 [30]</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 4-3 Zatížení sítě s BESS zajišťující denní akumulaci energie [68]</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 7-1 Základní parametry diagramu zatížení [97]</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 7-2 Odebíraný PHV obce Moravany (5.1.2016).....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 7-3 Průměrné průběhy odebíraného PHV podle dne</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 7-4 Odebíraný PHV obce Moravany – týdenní rozsah (4.1.–10.1.2016)</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 7-5 Denní průběhy v obci Moravany s BESS (5.1.2016)</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 7-6 Denní spotřeba elektrické energie v obci Moravany.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 7-7 Průběh odebíraného PHV obce Moravany – červenec, prosinec</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 7-8 Denní energie nutná pro zajištění konstantního odběru</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 7-9 Podíl špičkové denní energie na celkovém denním odběru</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 7-10 Závislost vyrovnávací energie na procentu vyrovnaných dní</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 7-11 Porovnání energie nutné pro pokrytí špiček s navrženou kapacitou akumulace</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 7-12 Vývoj počtu obyvatel obce Moravany [10]</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 7-13 Vývoj spotřeby obce Moravany [100]</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 7-14 Prognóza vývoje počtu obyvatel a spotřeby obce Moravany</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 7-15 Průběh odebíraného výkonu EV v obci Moravany – červenec 2035.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 7-16 Závislost spotřeby el. energie na teplotě okolí BEV Nissan Leaf. [129]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 7-17 Průběhy potřebných PHV EV v obci Moravany – prosinec 2035</i>	<i>60</i>

<i>Obr. 7-18 Porovnání průběhů odběru v závislosti na měsíci.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 7-19 Průběh odebíraného výkonu EV při nabíjení plné kapacity všech vozidel.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 7-20 Denní průběh výkonu PV v obci Moravany v roce 2018.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 7-21 Denní průběh výkonu v obci Moravany v roce 2035.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 7-22 Denní průběh výkonu PV v obci Moravany v červenci 2035 vybraných směrů.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 7-23 Simulace V0 – červenec 2018.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 7-24 Simulace V0 – prosinec 2018.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 7-25 Simulace V0a – červenec 2018.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 7-26 Simulace V0a – prosinec 2018.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 7-27 Simulace V1 – červenec 2035.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 7-28 Simulace V1 – prosinec 2035.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 7-29 Simulace V1a – červenec 2035.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 7-30 Simulace V1a – prosinec 2035.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 7-31 Simulace V1b – červenec 2035.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 7-32 Simulace V1b – prosinec 2035.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 7-33 Simulace V2 – červenec.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 7-34 Simulace V2 – prosinec.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 7-35 Měsíční spotřeba obce Moravany mezi roky 2016 a 2018.....</i>	<i>85</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Příklady BESS využívajících olověné baterie [67]</i>	26
<i>Tab. 5-1 Přehled ve světě existujících BESS</i>	37
<i>Tab. 5-2 Přehled v ČR existujících BESS</i>	39
<i>Tab. 7-1 Energie nutná pro vyrovnání denního odběru mezi roky 2016 a 2018</i>	50
<i>Tab. 7-2 Energie nutná pro vyrovnání denního odběru v roce 2018</i>	50
<i>Tab. 7-3 Počet obyvatel a spotřeby obce Moravany v roce 2018 a 2035</i>	54
<i>Tab. 7-4 Stanovený počet OA a EV v roce 2035</i>	55
<i>Tab. 7-5 Deset nejčastěji registrovaných BEV v ČR v roce 2018[120]</i>	56
<i>Tab. 7-6 Nové plánované generace nejčastěji registrovaných BEV v ČR v 2018 [28]</i>	56
<i>Tab. 7-7 Uvažované kategorie EV</i>	58
<i>Tab. 7-8 Uvažovaná skladba vozového parku (neboli mix) v obci Moravany v roce 2035</i>	58
<i>Tab. 7-9 Koeficienty připojování EV do sítě</i>	58
<i>Tab. 7-10 Parametry odběru mixu EV – červenec, prosinec</i>	60
<i>Tab. 7-11 Uvažované natočení PV instalací v obci Moravany v roce 2018</i>	62
<i>Tab. 7-12 Obecné nastavení nástroje Hourly radiation data pro rok 2018</i>	63
<i>Tab. 7-13 Korekční činitelé pro výsledky nástroje Hourly radiation data [83]</i>	63
<i>Tab. 7-14 Parametry PV v obci Moravany v roce 2018</i>	64
<i>Tab. 7-15 Vývoj instalovaného výkonu PV v obci Moravany</i>	65
<i>Tab. 7-16 Technický potenciál instalace PV v obci Moravany v roce 2018 [112] [59]</i>	66
<i>Tab. 7-17 Uvažované natočení PV instalací v obci Moravany v roce 2035</i>	66
<i>Tab. 7-18 Parametry PV v obci Moravany v roce 2035</i>	67
<i>Tab. 7-19 Varianty simulací</i>	68
<i>Tab. 7-20 Parametry simulace V0</i>	69
<i>Tab. 7-21 Parametry simulace V0a</i>	71
<i>Tab. 7-22 Parametry simulace V1</i>	73
<i>Tab. 7-23 Parametry simulace V1a</i>	75
<i>Tab. 7-24 Parametry simulace V1b</i>	77
<i>Tab. 7-25 Parametry simulace V2</i>	80
<i>Tab. 7-26 Porovnání výsledků simulací</i>	84
<i>Tab. 7-27 Parametry sezónní akumulace</i>	85

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	Výška	(m)
m	Hmotnost	(kg)
n	Počet	(-)
r	Poloměr	(m)
C	Kapacita kondenzátoru	(F)
E	Energie	(J); (Wh)
I	Elektrický proud	(A)
J	Moment setrvačnosti	(kgm ²)
L	Indukčnost cívky	(H)
PHV	Průměrný hodinový výkon	(W)
S	Zdánlivý výkon	(VA)
U	Napětí	(V)
π	Ludolfovo číslo	(-)
ρ	Hustota	(kgm ³)
ω	Úhlová rychlost	(rads ⁻¹)
BESS	Battery energy storage system (bateriové úložiště)	
BEV	Battery electric vehicle (bateriové elektrické vozidlo)	
CAES	Compressed air energy storage (skladování energie stlačeným vzduchem)	
CRV	Centrální registr vozidel	
ČEZ	České energetické závody	
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav	
ČR	Česká republika	
ČSN	Česká technická norma	
ČSÚ	Český statistický úřad	
DDZ	Denní diagram zatížení	
EM	Electromobility (elektromobilita)	
EN	Evropská norma	
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity (Evropská síť provozovatelů přenosových soustav elektřiny)	
ERÚ	Energetický regulační úřad	
ES	Elektrizační soustava	
EV	Electric vehicle (elektrické vozidlo)	

FBESS	Flow battery energy system storage (systémy skladování průtokovými bateriemi)
FES	Flywheel energy storage (skladování energie setrvačником)
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HTS	High temperature coil (vysoko-teplotní cívka)
J	Jih
JV	Jihovýchod
JZ	Jihozápad
LTS	Low temperature coil (nízko-teplotní cívka)
NAP CM	Národní akční plán čisté mobility
NKEP	Národní Klimaticko-Energetický Plán
OA	Osobní automobil
P2G	Power to gas („Energie v plynu“)
PG&E	Pacific Gas & Electric
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle (hybridní vozy)
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PSH	Pumped storage hydroelectricity (přečerpávací vodní elektrárna)
PV	Photovoltaics (fotovoltaika)
RDZ	Roční diagram zatížení
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic ČR
S	Sever
SDA	Svaz dovozců automobilů
SMES	Superconducting Magnetic Energy Storage (akumulace supravodičem)
SV	Severovýchod
SZ	Severozápad
TDZ	Týdenní diagram zatížení
TES	Thermal Energy Storage (tepelné skladování energie)
U.S.	United states (spojené státy)
USA	United States of America (spojené státy americké)
UTC	Coordinated Universal Time (koordinovaný světový čas)
V	Východ
V2G	Vehicle to grid („vozidlo v síti“)
VRB	Vanadiová redoxní baterie
Z	Západ

1 ÚVOD

Produkce elektrické energie z obnovitelných zdrojů je velmi proměnlivá. Nejčastěji zastoupené větrné a solární elektrárny dodávají výkon pouze za určitých podmínek. Ty se nemusí shodovat s aktuálními potřebami sítě a vzniká tak nesoulad mezi spotřebou a výrobou. Rozvoj moderních zařízení citlivých na kvalitu elektrické energie a výrazný tlak na snižování produkce skleníkových plynů, vedoucí k stále většímu zastoupení obnovitelných zdrojů v energetickém mixu zvyšuje potřebu síťových zařízení schopných na proměnlivou výrobu reagovat.

Řešením problému mohou být zařízení schopné akumulace, které přebytečnou energii uloží a dále s ní pracují podle potřeb sítě.

V této práci jsou popsány obecné způsoby skladování elektrické energie. Skladování lze zajistit různými fyzikálními principy. Volba technologie akumulace závisí na technických požadavcích na úložiště a dalších specifikách instalace. Možné technologie shrnuje kapitola 2.

V současné době rozmachu elektromobility, intenzivního výzkumu v oblasti baterií a jejich snižující se ceně vidí celá řada společností řešení právě v bateriových systémech. Popisem technologií bateriových úložišť se zabývá kapitola 3.

Tyto úložiště mohou v síti zajišťovat celou řadu funkcí. Základní přehled jejich využití shrnuje kapitola 4.

Bateriové úložiště se již v současné době využívají. Po světě existuje celá řada realizovaných projektů. Díky nim máme reálné zkušenosti s jejich provozem, které můžeme využít při návrhu nových úložišť. Kapitola 5 se zaměřuje na aktuální stav bateriových úložišť ve světě, na popis největších z nich a také na rozvoj oblasti v nejbližší budoucnosti. Kapitola se také zaměřuje na stav bateriových úložišť v České republice.

Akumulační systémy mají z pohledu české legislativy specifickou pozici. Kapitola 6 popisuje aktuální náhled na akumulaci z pohledu energetického zákona a současné možnosti připojení akumulačních zařízení do sítě.

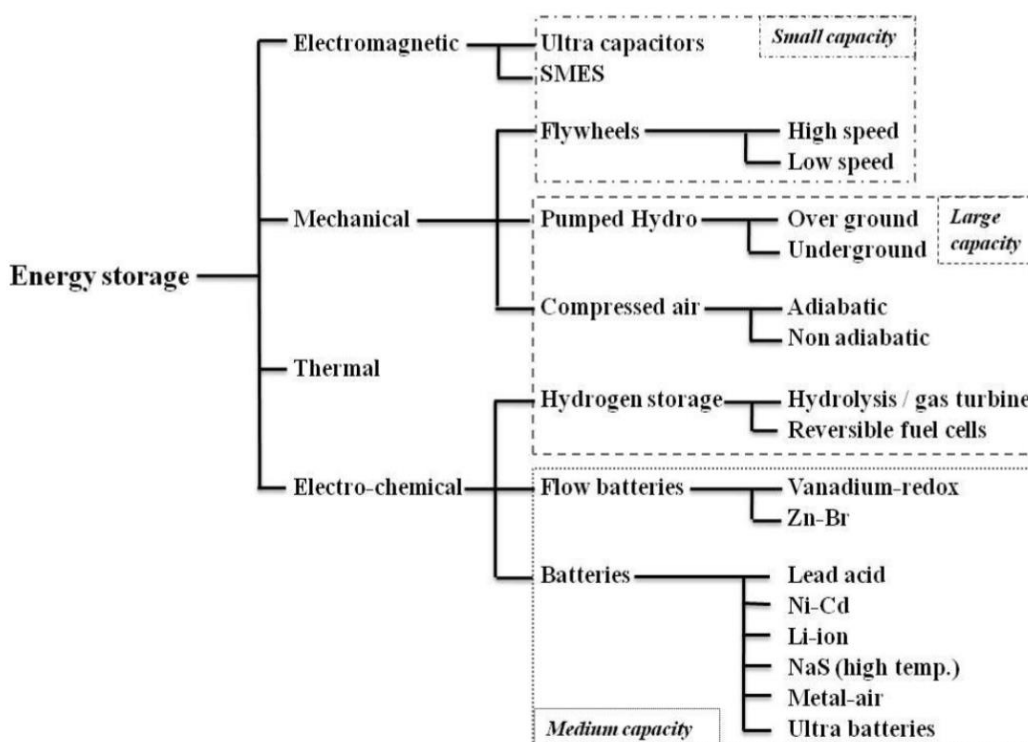
Praktická část práce, zpracovaná v kapitole 7, obsahuje návrh kapacity bateriového úložiště v současných podmínkách obce Moravany. Na základě prognóz vývoje spotřeby elektrické energie, elektromobility a fotovoltaiky pro rok 2035 jsou vytvořeny simulace vlivu těchto oblastí na výkon odebíraný ze sítě. V rámci simulace je navržena potřebná kapacita BESS pro vyrovnaní špiček. Závěr kapitoly se věnuje návrhu kapacity pro sezónní vyrovnaní spotřeby.

2 ZPŮSOBY AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE

S rozmachem obnovitelných zdrojů elektrické energie dochází ke změně způsobu, jakým s touto energií hospodaříme. Ekologické výrobní zdroje, mezi které patří zejména fotovoltaické a větrné elektrárny, se v současné době potýká s problémy se stabilitou výroby.

Jedním z řešení může být instalace prvků sloužících k akumulaci elektrické energie. V situacích, kdy je energie přebytek, začínají přebytečnou energii ukládat. Při nedostatku elektrické energie naopak uskladněnou energii vracejí zpět do sítě.

Možnosti akumulace můžeme rozdělovat podle fyzikálního principu funkce



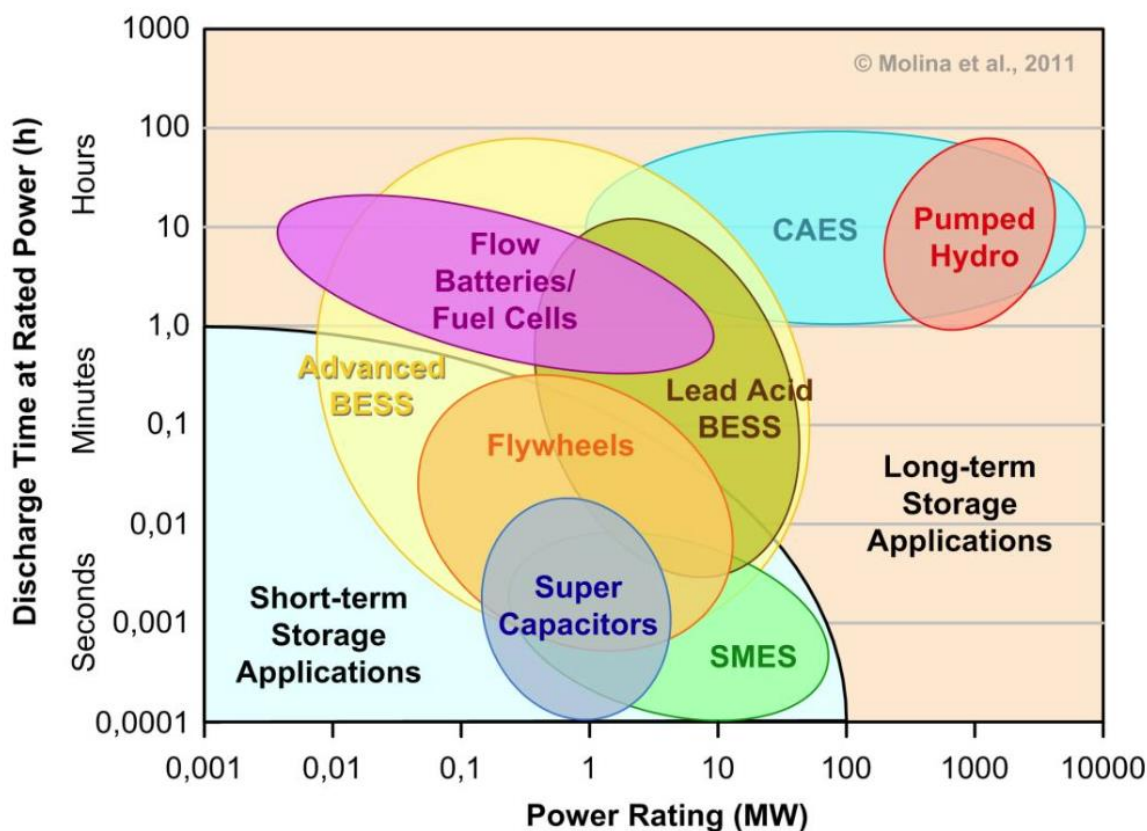
Obr. 2-1 Rozdělení způsobů akumulace energie na základě fyzikálního principu [98]

Z tohoto rozdělení je zřejmé, že pro ukládání elektrické energie existuje velké množství rozdílných technologií. Různé aplikace s rozdílnými požadavky vyžadují různé vlastnosti.

Například u bateriových úložišť můžeme uvažovat tyto základní parametry:

- | | | |
|------------------------|---|--|
| Jmenovitý výkon | – | Výkon, který s jakým je BESS schopno pracovat. |
| Kapacita | – | Množství energie, které je možné v BESS akumulovat. |
| Doba rozběhu | – | Doba, po které je BESS schopno dodávat do sítě jmenovitý výkon. |
| Hustota energie | – | Množství energie, které je možné uložit na jednotku objemu nebo kolik energie je uloženo v jednotce hmotnosti. |
| Počet cyklů | – | Počet nabití/vybití, které je zařízení schopno absolvovat bez výraznější ztráty kapacity. |

Porovnání jednotlivých technologií ukládání elektrické energie podle celkového výkonu a podle poměru kapacity k výkonu (době vybíjení) praktických instalací popisuje Obr. 2-2.



Obr. 2-2 Porovnání technologie skladování založené na kapacitě praktické instalace [98]

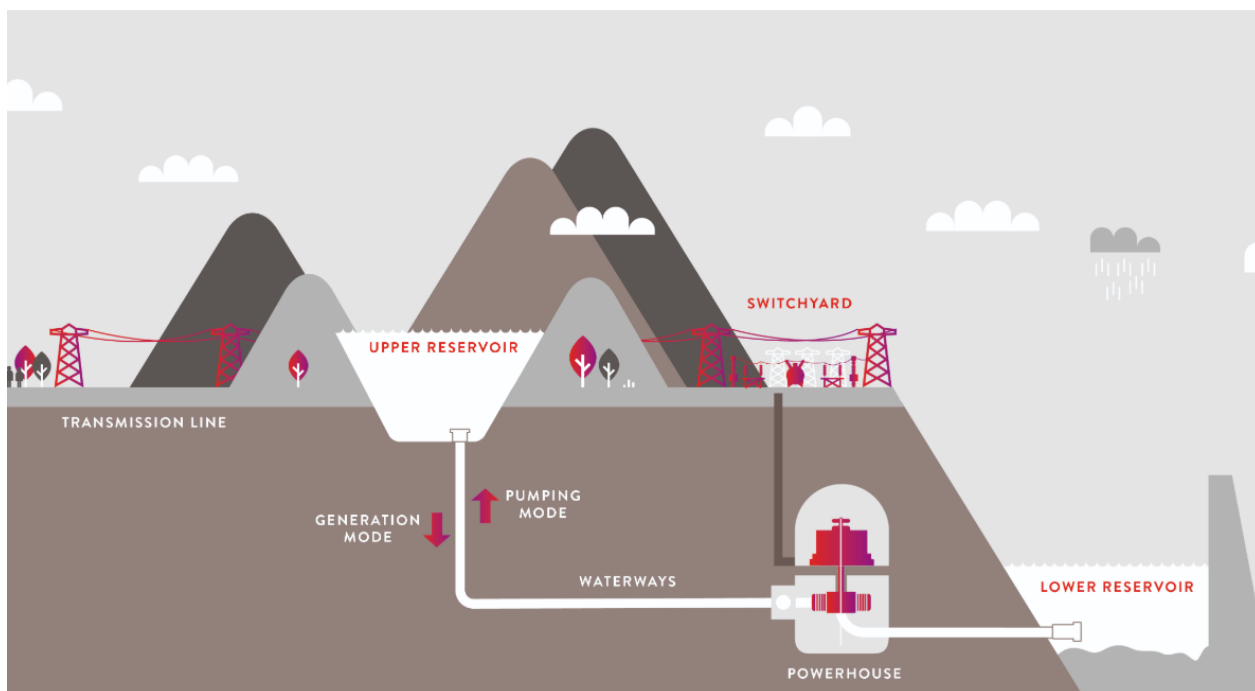
2.1 Mechanická akumulace

Nejčastější mechanická akumulární zařízení jsou přečerpávací vodní elektrárny, zařízení pro tlakovou akumulaci a setrvačníky. [52]

2.1.1 Přečerpávací vodní elektrárny (PSH)

V současné době nejvyužívanější způsob ukládání elektrické energie je akumulace pomocí přečerpávacích vodních elektráren (PSH). V anglické literatuře lze přečerpávací vodní elektrárny najít pod označení „pumped storage hydroelectricity“ (PSH).

Princip těchto zařízení spočívá v práci s potenciální energií vody. Z pravidla se skládá ze dvou nádrží s rozdílným potenciálem vůči tíhovému poli země. Tyto nádrže jsou propojeny potrubím, na kterém je instalována reverzní turbína. V případě přebytku energie v síti funguje elektrický točivý stroj spojený s turbínou, jakou motor a dochází k přečerpávání vody z dolní nádrže do nádrže horní. Elektrickou energii tedy přeměňujeme na potenciální energii vody. V případě nedostatku elektrické energie naakumulovanou vodou samospádem pouštíme zpět z horní nádrže do spodní nádrže. Při tom roztáčí turbínu (a tedy i generátor) a uložená energie se přivádí zpět do sítě.



Obr. 2-3 Schématický nákres přečerpávací vodní elektrárny [53]

Výhodou těchto elektráren je dobře zvládnutá technologie (první PSH se začali používat od 20 let 19. století [94]), akumulace velkého množství energie. Hlavní nevýhodou těchto zařízení jsou specifické podmínky na místo instalace.

V České republice byly v roce 2017 v provozu celkem tři PSH - Dlouhé stráně, Dalešice a Štěchovice II. [123]



Obr. 2-4 PSH Dlouhé stráně [88]

Nejvýkonnější z nich je PSH Dlouhé stráně s výkonem 650 MW (2 x 325 MW). Elektrárna je v provozu od roku 1996. Se spádem 510,7 m se jedná zároveň o elektrárnu s největším spádem v ČR. Horní nádrž o objemu 2,72 mil m³ v nadmořské výšce 1350 m je spojena dvěma přiváděči o průměru 3,6 m o délkách 1547 m a 1499 m se dvěma reverzními turbosoustrojími. [123] [113][88].

Soustrojí se skládají z rozběhového pony motoru, generátoru a Francisovi turbíny o výkonu 325 MW v turbinovém režimu a 312 MW v režimu čerpadlovém. Při plném výkonu protéká každým přivaděčem 68.5 m³ vody. [123]

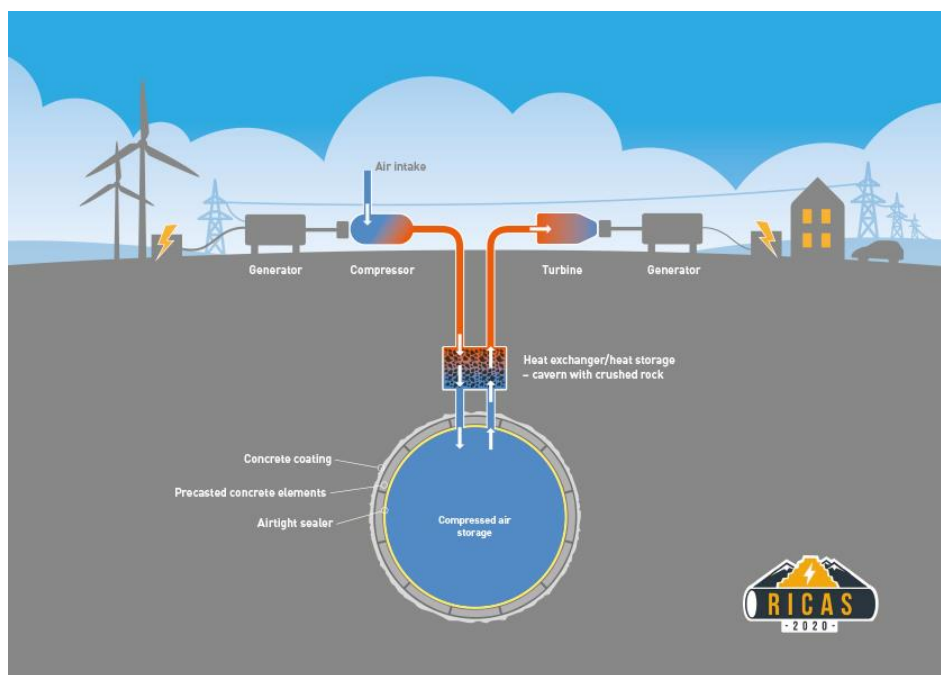
Výkony zbylých dvou PSH v ČR jsou 480 MW (Dalešice) a 45 MW (Štěchovice II.). [123]

2.1.2 Tlaková akumulace (CAES)

Elektrickou energii je také možné skladovat ve formě tlaku. Anglicky se tento typ úložišť označuje „Compressed air energy storage“, neboli CAES.

Nadbytečnou energii napájíme kompresory s několika stupňovým chlazením vhánějící okolní vzduch do uzavřeného prostoru. Následkem komprese dochází ke zvyšování tlaku na přibližně 70 barů.

V případě nedostatku elektrické energie dochází k obrácení procesu. Naakumulovaný vzduch uvolňujeme přes plynovou turbínu spojenou s generátorem zpět do okolí. Rotací turbíny (a tedy i generátoru) dochází k dodávání energie zpět do sítě.



Obr. 2-5 Akumulace elektrické energie stlačeným vzduchem, projekt RICAS [2]

Tyto úložiště jsou většinou naprojektovány k ukládání velkého množství energie. Potřebují proto rozsáhlé prostory pro uložení velkého množství stlačeného vzduchu. V praxi se nejvíce využívají prostory v zemi buďto uměle vytvořené (vytěžené doly, vyprázdněná úložiště plynu, vykopané jeskyně) nebo přirozeně se objevující (jeskyně nebo porézní skalní útvary). [62]

Účinnost úložiště tohoto typu bez zpracování odpadního tepla dosahuje 42 %. Při zpracování odpadního tepla se účinnost pohybuje okolo 55 %. [13]

V porovnání s ostatními typy úložišť elektrické energie se jedná o velmi nákladné řešení. Další nevýhodou je nutnost vhodného prostoru pro akumulaci – nelze postavit všude.

První komerční zařízení sloužící k akumulaci energie ve formě stlačeného vzduchu je zařízení Kraftwek Huntorf, které je provozováno v Německu od roku 1978. S výkonem 321 MW sloužilo k akumulaci levné noční energie z jaderných elektráren. Stlačený vzduch je ukládán ve dvou

solných kavernách s celkovým objemem 310 000 m³. Kaverny jsou uloženy v hloubce více než 600 m, což zaručuje stabilní podmínky i pro několikaměsíční akumulaci a umožňuje dosažení tlaku velikosti až 100 bar. [61]

Druhé komerční zařízení tohoto typu je McIntosh CAES plant, které je v provozu od roku 1991. Zařízení je naprojektováno na maximální výkon 110 MW, který je schopno dodávat po dobu 26 hodin. Princip ukládání stlačeného vzduchu je stejný jako u zařízení Kraftwek Huntorf, využívá však pouze jednu kavernu o celkovém objemu 560 000 m³. [71][76]

Existuje také několik dalších buď již realizovaných projektů (většinou menších výkonů než výše zmiňované zařízení), nebo projekty, na kterých se stále pracuje. [92]

Jedním z nich je také projekt RICAS2020, podporovaný Evropskou unií.

Projektová studie RICAS2020 si klade za cíl vytvořit podzemní výzkumnou infrastrukturu pro AA-CAES. Zaměřuje se na technické, právní, institucionální a finanční požadavky s cílem získání schválení jako budoucí výzkumné zařízení.¹

2.1.3 Setrvačníky (FES)

Další možností ukládání elektrické energie je ukládání ve formě kinetické energie. Anglicky označované „Flywheel energy storage“, neboli FES.

Při přebytku energie využíváme točivý elektrický stroj jako motor, který roztáčí těleso o vysoké hmotnosti. V případě nedostatku energie využíváme elektrický točivý stroj jako generátor, který transformuje uloženou kinetickou energii zpět na energii elektrickou.

Požadavky na roztáčené těleso ovlivňují jeho konstrukci. Cílem je uložení co největšího množství energie do co nejmenšího prostoru s co nejvyšší účinností.

Kinetická energie E_k uložená v setrvačnicku se dle [7] vypočítá podle vzorce:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2 \quad (J; kg \cdot m^2, rad \cdot s^{-1}) \quad (2.1)$$

Kde J je moment setrvačnosti a ω je úhlová rychlost otáčení setrvačnicku.

Moment setrvačnosti je pro každé těleso funkcí jeho tvaru a hmotnosti. Pro základní tvar setrvačnicku – plný válec, je vzorec pro výpočet momentu setrvačnosti dle [7] roven:

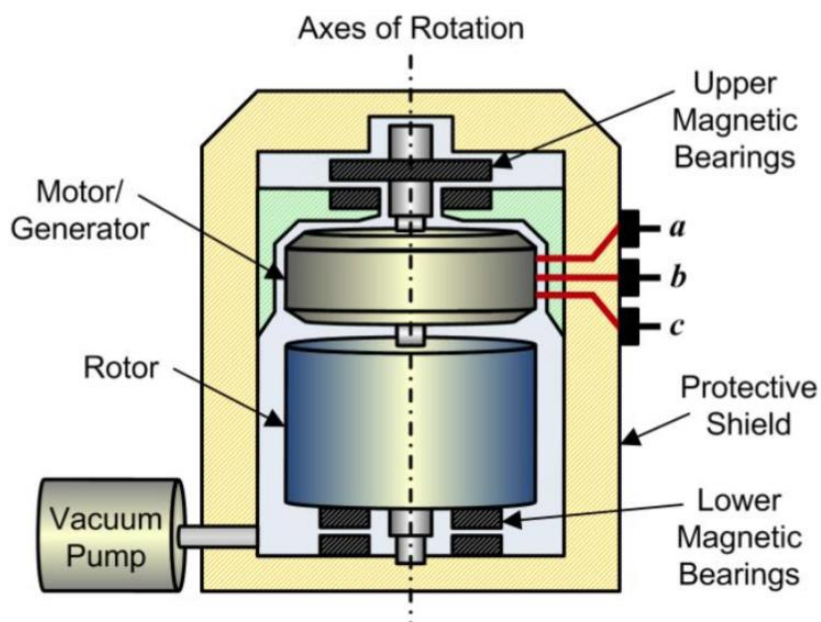
$$J = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot m = \frac{1}{2} \cdot r^4 \cdot \pi \cdot a \cdot \rho \quad (J; m, kg; m, m, kg \cdot m^3) \quad (2.2)$$

Kde r je poloměr válce, a je délka válce, m je hmotnost válce a ρ je hustota materiálu válce.

Z těchto rovnic je zřejmé, že množství uložené energie můžeme ovlivňovat geometrií tělesa, množstvím použitého materiálu (objem materiálu), hustotou materiálu a otáčkami tělesa. Zařízení jsou také konstruována tak, aby docházelo k co nejmenším ztrátám. Setrvačnick je proto většinou uložen v prostoru s vakuem a uložen na magnetických ložiskách.

¹ The Design Study RICAS2020 aims to create an underground research infrastructure for AA-CAES and focuses on the technical, legal, institutional and financial requirements in order to get an approval as a future research facility[93]

Mezi výhody ukládání energie do setrvačníků patří dobrá účinnost, dosahující 80-90 %. Poznamenejme, že ukládání energie ve formě kinetické energie využitím setrvačníků je velmi výhodné díky relativně kompaktním rozměrům zařízení. [98]



Obr. 2-6 Schématické uspořádání FES [98]

Jedním z realizovaných projektů úložiště na tomto principu je setrvačnickové úložiště v Stephentown, N.Y. Toto úložiště s výkonem 20 MW se skládá z 200 vysoko-rychlostních setrvačníků. Úložiště slouží k poskytování rychlé regulace frekvence. [22]

2.2 Elektromagnetická akumulace

Do elektromagnetické akumulace patří nejčastěji kondenzátory, superkondenzátory a supravodivé cívky.

2.2.1 Kondenzátory a superkondenzátory

Jednou z možností, jak akumulovat energii přímo ve formě elektrické energie je akumulace kondenzátory.

Kondenzátor je pasivní elektrotechnický prvek. Skládá se z nejméně dvou elektricky vodivých desek, které jsou odděleny tenkou vrstvou izolantu (dielektrika). Při nabití je elektrická energie uložena v izolantu ve formě elektrostatického pole. [4]

Přiložením napětí na elektrody dojde k polarizaci. Maximální pracovní napětí závisí na průrazné charakteristice materiálu dielektrika. [67]

Kondenzátory jsou vhodné pro ukládání menšího množství elektrické energie. Mezi výhody patří také rychlé nabíjení. [67] Nevýhodou této technologie je malá kapacita nebo náchylnost k samovybíjení. [67]

Energie uložená E_c v kondenzátoru se vypočte podle vzorce:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \text{ (J; F, V)} \quad (2.3)$$

Kde C je kapacita kondenzátoru a U je napětí na kondenzátoru.

Superkondenzátory se skládají ze dvou vodivých desek (elektrod), které jsou potaženy porézním materiálem (aktivním uhlím). Elektrody jsou ponořeny v elektrolytu. Během nabíjení dochází k akumulaci iontu na povrchu potažených elektrod. [45]

Oproti jiným způsobům ukládání energie mají superkondenzátory velmi vysokou hustotu výkonu. Hustota uložené energie je však oproti bateriím podstatně nižší. [1]

Výrazné zvýšení hustoty výkonu je způsobeno mnohonásobným zvětšením ploch elektrod a ztenčením dielektrika. Větší plocha elektrod je zajištěna použitím nanomateriálů. [1]

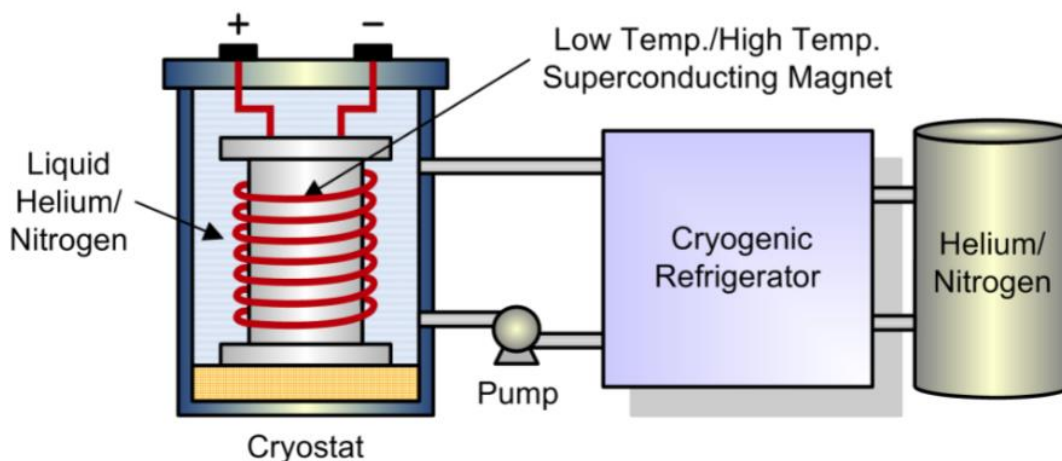
2.2.2 Supravodivé cívky (SMES)

Akumulace energie pomocí supravodivých cívek, anglicky označovaná „Superconducting magnetic energy storage“ (SMES), ukládá energii ve formě magnetického pole, které je vytvořeno DC proudem procházejícím velkou supravodivou cívkou. [23]

Objev supravodivosti si zapsal v roce 1911 nizozemský fyzik Heike Kamerlingh-Onnes. Objevil, že poklesne-li teplota určitých materiálů pod jejich kritickou teplotu, skokově klesne její odpor na neměřitelnou hodnotu. [72]

Právě kvůli udržení si supravodivých vlastností cívky je nutné cívku udržovat na velmi nízkých teplotách. Podle teploty systému můžeme supravodivé cívky rozdělovat na vysoko a nízko teplotní cívky. Vysoko teplotní cívky – HTS („high temperature coils“), pracují na teplotě okolo 70 K. Vyspělejší nízko teplotní cívky – LTS („low temperature coils“) pracují na teplotě okolo 5 K. [23]

Schématické uspořádání úložiště SMES můžeme vidět na Obr. 2-7.



Obr. 2-7 Uspořádání SMES [98]

Energie uložená v cívce lze podle [78] vypočítat pomocí vzorce:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \text{ (J; H, A)} \quad (2.4)$$

Kde L je indukčnost cívky a I je proud procházející cívkou.

Maximální proud, který může cívkou protékat je závislý na teplotě. Platí, že čím nižší je teplota, tím větší proud může cívkou protékat. [23]

Podle [84], bylo při experimentu, na magnetické indukci okolo 10 T a teplotě 4.2 K, dosaženo hustoty energie $40 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$. Tato hodnota převyšuje hustotu energie setrvačnicků i bateriových úložišť. [23].

Nespornou výhodou této technologie je schopnost nabít či vybit velké množství energie ve velmi krátkém čase. Při experimentech bylo zjištěno, že úložiště o výkonu 1 MW a kapacitě 1 kWh je schopné zvyšovat svůj výstupní výkon o 200 kW za pouhých 20 ms. [101][46]

Další výhodou je schopnost absolvovat velké množství nabíjecích cyklů – řádově desítky tisíc cyklů. [78]

Masivnější rozšíření je problematické zejména z důvodu vysoké finanční nákladnosti. [84]

2.3 Elektrochemická akumulace

Technologie využívající pro akumulaci elektrické energie elektrochemické procesy.

2.3.1 Elektrochemické články

Základním stavebním prvkem je elektrochemický článek. Skupina článků se nazývá baterie. Články se zapojují do sério-paralelních kombinací tak, aby výsledná baterie měla požadované napětí a kapacitu.

Baterie dělíme na primární a sekundární.

Typické pro tuto technologii akumulace je skutečnost, že elektrická i chemická energie má stejný nosič – elektron. Díky tomu nedochází k tak výrazným ztrátám při přeměně jedné formy energie na druhou. [29]

Problematika baterií je detailněji rozebrána v kapitole 3.

2.3.2 Power-to-Gas (P2G)

Technologie Power-to-Gas je založena na přeměně elektrické energie na energii chemicky vázanou v rámci plynného média. [116]

Médium, do kterého se energie ukládá, je nejčastěji vodík nebo metan. Vodík se vyrábí pomocí elektrolytického rozkladu vody. [116]

Výhodou této technologie je možnost využití stávající rozsáhlé infrastruktury zemního plynu a z toho vyplývající velmi snadná skladovatelnost. [99]

2.4 Termální úložiště (TES)

V anglické literatuře je lze nalézt pod označením „Thermal energy storages“ (TES).

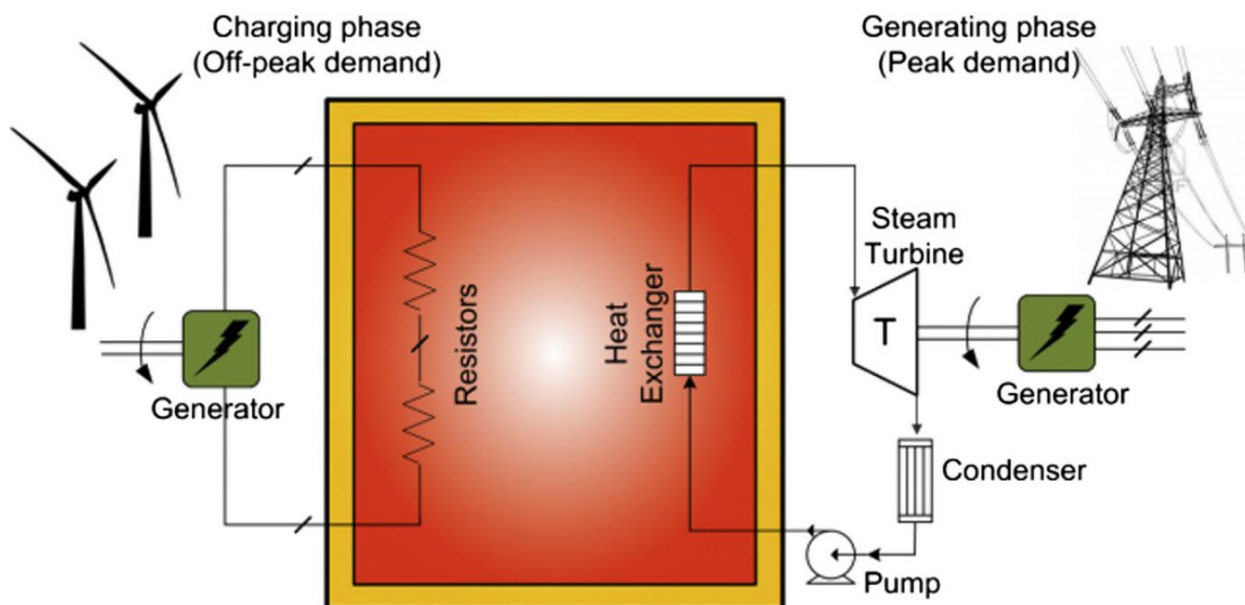
Jedná se o zařízení přeměňující elektrickou energii na tepelnou energii, která je ukládána do média v izolovaných úložištích využívajících různorodých technologií. [52][67]

Zpravidla se skládá z izolované nádrže sloužící k uskladnění média akumulujícího teplo. V nádrži se nachází systém pro ohřev média určený pro přeměnu elektrické energie na energii tepelnou. Pro zpětnou přeměnu tepelné energie na elektrickou slouží výměník tepla, zajišťující ohřev kapaliny a její přeměnu na páru, která je přiváděna na turbínu s generátorem vytvářející elektrickou energii. [67]

Tepelná energie může být ukládána zvyšováním teploty média (tj. změna citelného tepla) nebo změnou skupenství média (tj. změna latentního tepla). [98][55]

Z toho vyplývá, že se TES dělí na dvě hlavní kategorie. První kategorií je TES využívající citelné teplo, které pro akumulaci využívá vodu, kámen, nebo půdu. Druhou kategorií je TES využívající latentní teplo, které využívá přeměnu voda/led nebo hydráty soli. [98]

Schématický náčrt TES úložiště je vidět na Obr. 2-8 na následující straně.



Obr. 2-8 Systém tepelného úložiště pro větrnou [67]

Tepelná úložiště jsou schopna akumulace velkého množství energie bez výraznějších nebezpečí. Hustota uložené energie navíc dosahuje relativně vysokých hodnot (80 až 500 Wh/L, 80 až 250 Wh/kg). Vynikají také malým denním samovybíjením (0,05 až k 1 %). [98][67]

Nevýhodou je účinnost cyklu uložení a následného vybití energie, které se pohybuje pouze okolo 30 až 60 %. [67]

3 TECHNOLOGIE BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ

Schopnost bateriových systému reagovat na požadavky sítě závisí z velké části na technologii úložiště energie.

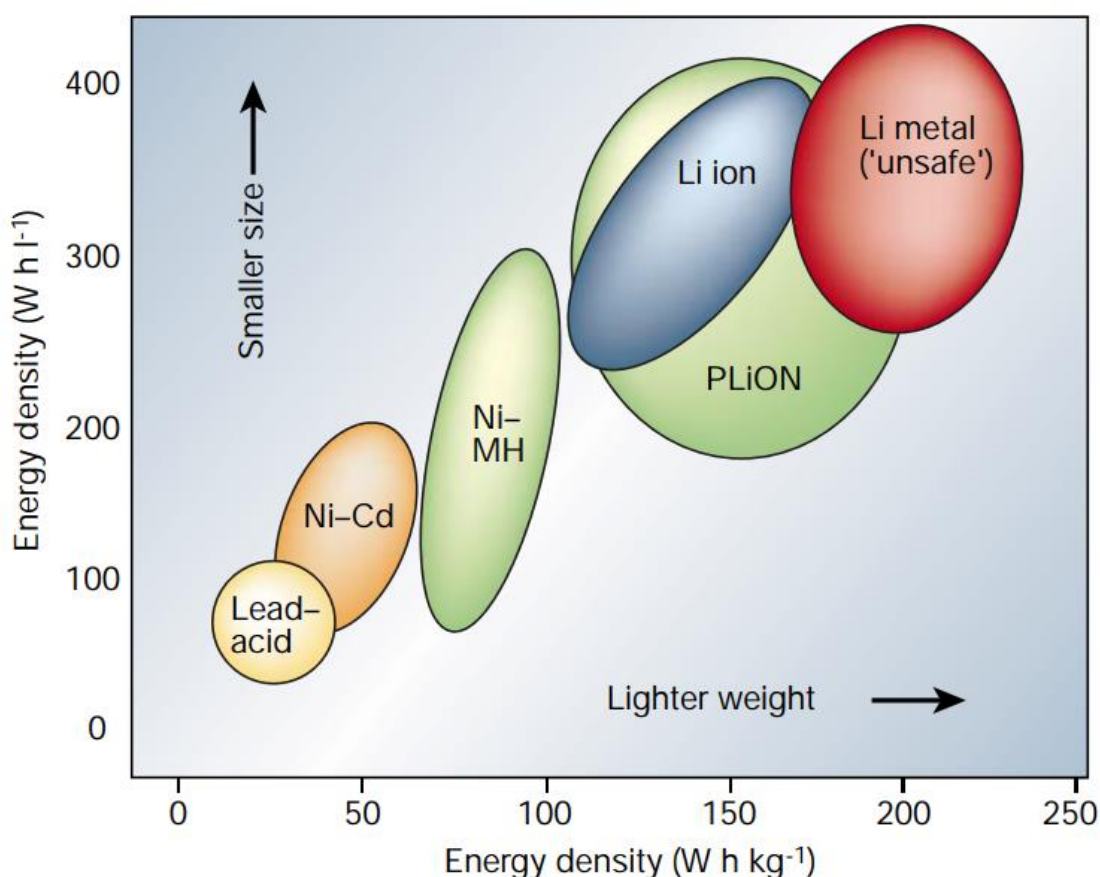
Zvolená technologie značným způsobem předurčuje funkci bateriového systému v síti. Systém například můžeme naprojektovat tak, aby byl schopný akumulovat velké množství energie, kterou bude do sítě dodávat s nízkým výkonem. Na druhé straně můžeme hovořit o systému schopného akumulace relativně málo energie, kterou však do sítě dokáže dodat velmi rychle. V tomto případě hovoříme o systému velkého výkonu.

Jedním z parametrů, který může hrát při výběru technologie roli, je poměr uložené energie k rozměrům a váze baterie. Vliv technologie baterie na rozměrech a váze popisuje Obr. 3-1.

Bateriové systémy se skládají z velkého počtu elektrochemických článků zapojených sériově nebo paralelně tak, aby jako celek poskytovaly požadované napětí a byly schopny dodat požadovaný výkon. Každý článek obsahuje dvě elektrody (anodu a katodu) a elektrolyt, který může být pevný nebo tekutý. [67]

Článek mění elektrickou energii na chemickou a naopak. Během nabíjení a vybíjení probíhá elektrochemická reakce na katodě a anodě současně. [67]

Výhodou bateriových úložišť oproti PSH nebo CAES je to, že mohou být umístěny prakticky kdekoli bez výraznějších nároků na krajinné podmínky.



Obr. 3-1 Závislost množství uložené energie na rozměrech a váze baterie [54]

3.1 Bateriová úložiště (BESS)

Bateriová úložiště jsou zařízení sloužící k akumulaci elektrické energie pomocí elektrochemických článků. Ty mohou využívat rozdílné technologie a do značné míry tak ovlivnit vlastnosti úložiště.

Dalším důležitým prvkem jsou měniče, jejichž parametry výrazně ovlivňují parametry zařízení. BESS musí také obsahovat systémy řízení, měření a mnoho dalších systémů pro optimální provoz zařízení.

3.1.1 Olověné baterie

Jedny z nejrozšířenějších typů baterií používaných pro bateriová úložiště jsou olověné baterie. [67]

Katoda těchto baterií je vyrobena z PbO_2 , anoda z Pb a elektrolyt je kyselina sírová. [67]

Tyto baterie se vyznačují rychlou odezvou, malým samovybíjením (menší než 0,3 % denně), relativně vysokou účinností (63 až 90 %) a relativně nízkou pořizovací cenou. [67]

Olověné baterie se hodí na aplikaci ve stacionárních zařízeních jako záložní zdroj energie pro nejrůznější aplikace. [67]

Mezi nevýhody této technologie patří relativně nízký počet nabíjecích cyklů (okolo 2000 cyklů) a malá hustota uložené energie (25-50 Wh/kg). Další nevýhodou může být zhoršení vlastností těchto baterií za nízkých teplot. [67]

Příklady projektů využívajících olověné baterie jsou uvedené v Tab. 3-1.

Tab. 3-1 Příklady BESS využívajících olověné baterie² [67]

Název/poloha	Parametry	Využití
BEWAG, Berlin	8,5 MW/8,5 MWh	Točivá rezerva, regulace frekvence
Chino, California	10 MW/40 MWh	Točivá rezerva, Akumulace energie
PREPA, Puerto Rico	20 MW/14 MWh	Točivá rezerva, regulace frekvence
Metlakatla, Alaska	1 MW/ 1,4 MWh	Zajišťování stability ostrovní sítě
Kahuku wind farm, Hawaii	15 MW / 3,75 MWh	Řízení spotřeby, stabilizace zátěže, integrace sítě
Notrees EES project, U.S.	36 MW/24 MWh	Integrace větrných elektráren

3.1.2 Lithium-iontové baterie

Během 80. let minulé století, kdy docházelo k rozmachu přenosné elektroniky jako jsou notebooky, mobilní telefony a podobně, se objevila nutnost vhodných baterií s dostatečnou kapacitou, malými rozměry a nízkou hmotností. V té době však využívané olověné baterie, nikl-kadmiové baterie, stejně jako nikl-metal hydridové baterie neodpovídali rozměrovým a váhovým požadavkům kladeným na přenosná zařízení. Vznikla tedy nutnost vývoje baterií s parametry dostatečnými na praktické využití. [40]

Odpovědí byly právě Lithium-iontové (Li-Ion) baterie. První komerční prodej baterií této technologie započala v roce 1991 společnost Sony. Od té doby se staly nejrozšířenější technologií používanou v síťových bateriích. [128]

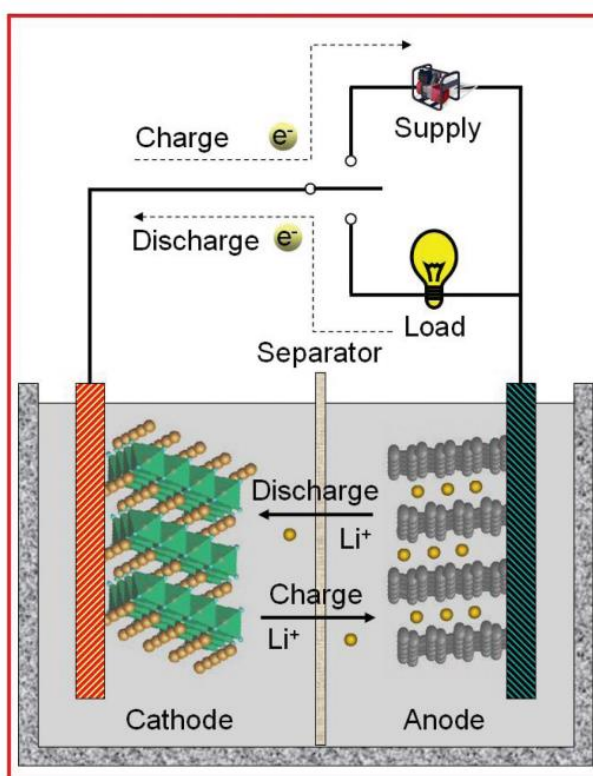
² Přeloženo z angl.

Baterie označená jako „Lithium-iontová“ nemá pevně určené materiály elektrod (neboli elektrochemickou dvojici materiálů). Jedná se o souhrnné označení pro baterie rozličných materiálů, které jsou však charakteristické tím, že během nabíjení a vybíjení dochází k přenosu iontů lithia mezi elektrodami. [66]

Články Li-Ion baterii neobsahují kovové lithium. Ionty lithia jsou „vložené“ do struktur jiných materiálů. [66]

Konstrukce Li-Ion článku

Základní Li-Ion článek se skládá z katody (kladné elektrody) a anody (záporné elektrody), které jsou v elektrolytu s ionty lithia. Elektrody jsou od sebe odděleny separátorem. Typicky se jedná mikroporézní polymerní membránu, která mezi elektrodami dovoluje výměnu iontů lithia, ale zabráňuje pohybu elektronů mezi nimi. [20]



Obr. 3-2 Ilustrace základních prvků a principu funkce Li-Ion článku [19]

Princip funkce

Během nabíjení jsou obě elektrody připojeny na externí elektrický zdroj. Elektrony jsou přinuceny opustit katodu a externím propojením se přemístit na anodu. Zároveň jsou ionty lithia přinuceny přesunu ve stejném směru uvnitř článku, z katody na anodu přes elektrolyt. Tímto způsobem se externí energie elektrochemicky ukládá uvnitř baterie ve formě chemické energie. [20]

Při vybíjení nastává opačný proces: elektrony se pohybují z anody na katodu přes externí zátěž kde vykonávají práci. Ionty lithia se přemísťují elektrolytem z anody na katodu. [20]

Vlastnosti Li-Ion článku

Mezi výhodu této technologie patří vysoká hustota energie, oproti jiným technologiím vysoký poměr výkonu k váze, absence paměťového efektu (postupné snižování maximální kapacity při

opakovaném nabíjení bez absolutního vybití) z čehož plyne delší životnost. Podle studie [44] představuje tato technologie nejlepší poměr uloženého náboje k váze baterie. [51][44]

Mezi nevýhody patří závislost dodávaného výkonu na teplotě. Vyšší teplota také způsobuje snížení životnosti. Nevýhodou je nutnost ochrany, chránících článků proti přebití. [26][52]

Pro dobu skladování od 30 minut do 3 hodin jsou Li-Ion baterie v současné době z hlediska ceny a efektivity nejvýhodnější a mají nejlepší hustotu energie v porovnání s jinými technologiemi skladování.

3.1.3 Sodíkovo-sírové (NaS) baterie

Sodíkovo-sírové baterie využívají roztavený sodík a síru jako dvě elektrody. Jako pevný elektrolyt se využívá typ oxidu hlinitého označovaný jako beta alumina. Chemická reakce vyžaduje za normálních podmínek 574 K až 624 K (300 °C až 350 °C) k zajištění tekutého stavu elektrod, který zajišťuje vyšší reaktivitu. [67]

Mezi hlavní výhody NaS baterií patří relativně vysoká hustota uložené energie (150 až 300 W/l), prakticky nulové samovybíjení. Baterie využívají levný a netoxický materiál, což zajišťuje výbornou recyklovatelnost (přibližně 99 %). [67]

Nevýhodou jsou pak vysoké provozní náklady a nutnost pomocného systému zajišťujícího pracovní teplotu. [67]

3.1.4 Nikl-kadmiové (NiCd) baterie

Baterie typu NiCd využívají hydroxid niklu a kovové kadmium jako dvě elektrody a vodný alkalický roztok jako elektrolyt. [67]

Za normálních podmínek má vysokou spolehlivost a nízké nároky na údržbu. [67]

Nevýhodou baterií tohoto typu jsou samotné materiály, ze kterých se baterie skládá. Nikl a kadmium jsou toxické těžké kovy a jako takové představují nebezpečí pro životní prostředí. Baterie také trpí paměťovým efektem – maximální kapacita se může výrazně snížit, pokud je baterie opakovaně nabíjena po pouze částečném vybití. [67]

Prozatím je známo velmi málo projektů využívajících NiCd baterie pro rozsáhlejší skladování elektrické energie. [67]

3.1.5 Další technologie BESS

Dalším možným typem jsou nikl-metal hydridové (NiMH) baterie. Tyto baterie jsou podobné bateriím NiCd, avšak jako materiál druhé elektrody je použita slitina absorbující vodík. Hustota uložené energie se pohybuje okolo 170 až 420 Wh/L, což je výrazně lepší, než u baterií NiCd. Další výhodou baterií NiMH oproti NiCd je nižší paměťový efekt a využití materiálů méně nebezpečných pro životní prostředí. [67]

NiMH zvládnou také vyšší počet nabíjecích cyklů než baterie typy Li-Ion. [67][131]

Hlavní nevýhodou baterií NiMH, výrazně omezující jejich nasazení v BESS, je samovybíjení. Již po 24 hodinách od plného nabití ztratí baterie 5 až 20 % z uložené energie. [67][35]

Další možnou technologii mohou být tzv. ZEBRA baterie, které využívají chlorid sodný. Tyto baterie jsou podobné NaS bateriím. Hustota uložené energie se u této technologie pohybuje okolo

150 Wh/L. Pracovní teplota dosahuje 250 až 350°C. Mezi výhody patří velmi nízké samovybíjení a relativně vysoký počet nabíjecích cyklů. [67]

Je nutné zmínit také baterie typu Li-metal. Ty se vyznačují svojí vysokou hustotou uložené energie. Nevýhodou je však jejich nestálost. [126]

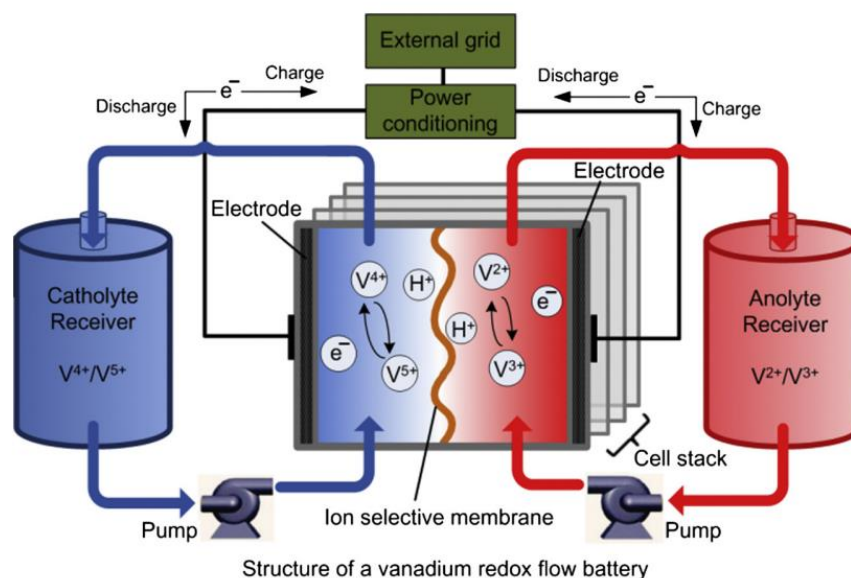
3.2 Průtoková bateriová úložiště (FBESS)

Průtoková baterie ukládá energii ve dvou rozpustných redoxních párech uzavřených v oddělených nádržích kapalných elektrolytů. K reakci mezi těmito elektrolyty dochází v článku skládajícího se ze dvou prostorů oddělených membránou. Princip funkce je založen na redukčně-oxidační reakci mezi elektrolyty. [67]

Komerčně dostupné jsou zejména tři typy průtokových bateriových úložišť. Jedná se o Vanadiové redoxní baterie (VRB), zinko-bromidové průtokové baterie a polysulfidové bromové průtokové baterie. [23]

Zásadní výhoda FBESS systémů spočívá v nezávislosti výkonu na kapacitě. Jejich výkon je ovlivněn velikostí elektrod a počtu článků v sestavě. Kapacita je ovlivněna koncentrací a množstvím elektrolytu. Z toho vyplývá možnost velmi jednoduchého zvyšování kapacity FBESS pouhým rozšiřováním prostor pro elektrolyty. [127][23] Další výhoda spočívá ve velmi malém samovybíjení. To je sníženo na minimum právě díky oddělenému skladování elektrolytů. Velmi zajímavá je také jejich schopnost úplného vybití, při kterém nedojde k poškození. [23]

Nevýhody průtokových bateriových úložišť jsou například nižší účinnost způsobená nerovnoměrným rozložením tlakových ztrát, složitost celého systému oproti BESS a s tím související vyšší náklady. [67]



Obr. 3-3 Schéma vanadiové redoxní průtokové baterie [67]

3.2.1 Zinko-bromidová průtoková baterie (ZnBr)

Průtokové baterie typu ZnBr se řadí mezi hybridní průtokové baterie. Tekuté elektrolyty, jeden na bázi zinku, druhý na bázi bromu, jsou uloženy v oddělených nádržích. K reakci mezi elektrolyty dochází v člancích, které jsou složeny z uhlíkových kompozitních elektrod s komorami. [12][67][77]

ZnBr průtokové baterie mají relativně vysokou hustotu uložené energie (přibližně 30 až 65 Wh/L). Napětí článku je 1,8 V. Baterie také nemá problém s hlubokým vybitím. Velikosti modulů jsou od 3 kW až 500 kW při odhadované životnosti 10 až 20 let. [12][77][67]

Mezi hlavní nevýhody patří koroze materiálu nebo tvorba dendritů. Oproti tradičním bateriím mají také nižší účinnost (65 až 75 %). [3] Další nevýhodou může být relativně úzký rozsah pracovních teplot. [67][77]

3.2.2 Vanadiová redoxní baterie (VRB)

Vanadiové redoxní baterie uchovávají energii díky vanadiovým redoxním párům ve dvou elektrolytických nádržích. Během nabíjení a vybíjení dochází k výměně iontů H^+ skrze iontovou selektivní membránu. Napětí článku je u těchto baterií přibližně 1,4 V. [67][77]

VRB baterie mají rychlou odezvu (rychlejší než 0,001 s) a zvládnou 10 000 až 16 000 nabíjecích cyklů. Jejich účinnost dosahuje až 85 %. [127][67]

Mezi problémy, provázející tento typ baterií, patří nízká stabilita elektrolytu nebo rozpustnost způsobující snížení hustoty uložené energie. Další nevýhodou jsou vysoké provozní náklady. [64][67]

3.2.3 Polysulfidová bromová průtoková baterie (PSB)

Tyto průtokové baterie používají bromid sodný a polysulfid sodný jako solný elektrolytický roztok. Napětí článku, vytvořeného reakcí elektrolytu přes membránu, rozdělující článek na dva prostory, je okolo 1,5 V. PSB se vyznačuje rychlou odezvou, která je přibližně 20 ms. [12][67]

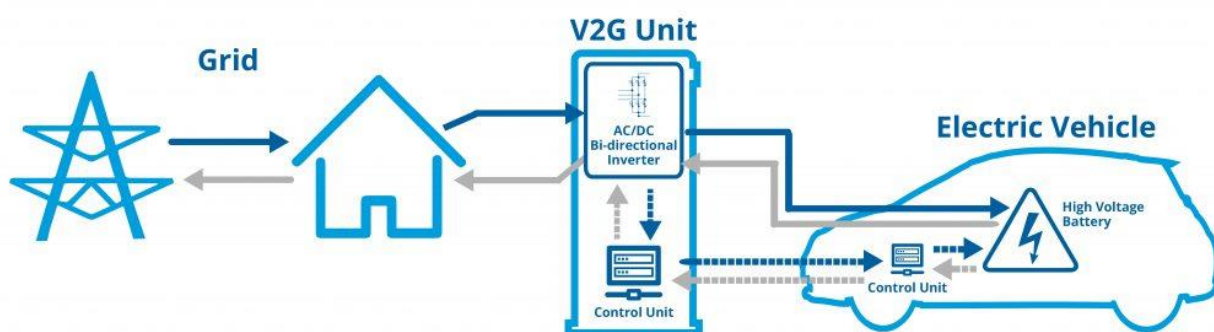
Hlavní výhody PSB vyplývají z materiálů elektrod, které jsou ve světě hojně rozšířené a které jsou vysoce rozpustné ve vodných elektrolytech. Výhodná je také jejich cena. [124][67]

3.3 Vehicle-to-Grid akumulace (V2G)

Myšlenka systému V2G (anglicky vehicle-to-grid) spočívá v obousměrném propojení elektrický vozidel (EV) se sítí. Auta připojená k síti, začleněná do tohoto systému, umožní agregátorům (lidem zodpovědným za výstup systému) využít kapacitu jejich baterií jako další regulační prvek sítě. Připojená auta se tedy chovají jako virtuální baterie. [41]

Připojené vozidlo musí být schopno obousměrného toku elektrické energie. Do systému mohou být zapojeny jak elektromobily (BEV), tak hybridní vozy (PHEV).

Agregátor, disponující informacemi o situaci na trhu, plánuje nabíjení a vybíjení podle dohodnutých podmínek s majiteli vozidel a podle potřeb sítě. [41]



Obr. 3-4 Myšlenka propojení elektromobilu se sítí V2G [102]

Majitel vozidla by si může nastavit, jak bude baterie jeho elektromobilu využívána. Muže tak ovlivnit pod jakou úroveň vybití nesmí baterie klesnout a kdy může být energie z elektromobilu využita. Je tak možné zamezit problému s vybitým vozidlem zrovna když je majitel potřebuje využít.

Výhodou této technologie je zvýšení akumulační schopnosti sítě. Možnost „pronajímat“ baterii elektromobilu může být také motivace pro jejich majitele, kteří za pronájem dostanou zaplacen.

Nevýhodou je nestálost této akumulační kapacity – majitel může elektromobil kdykoliv odpojit ze sítě. Dochází také k namáhání baterie dalšími nabíjecími cykly i když elektromobil stojí, což snižuje její životnost. [69]

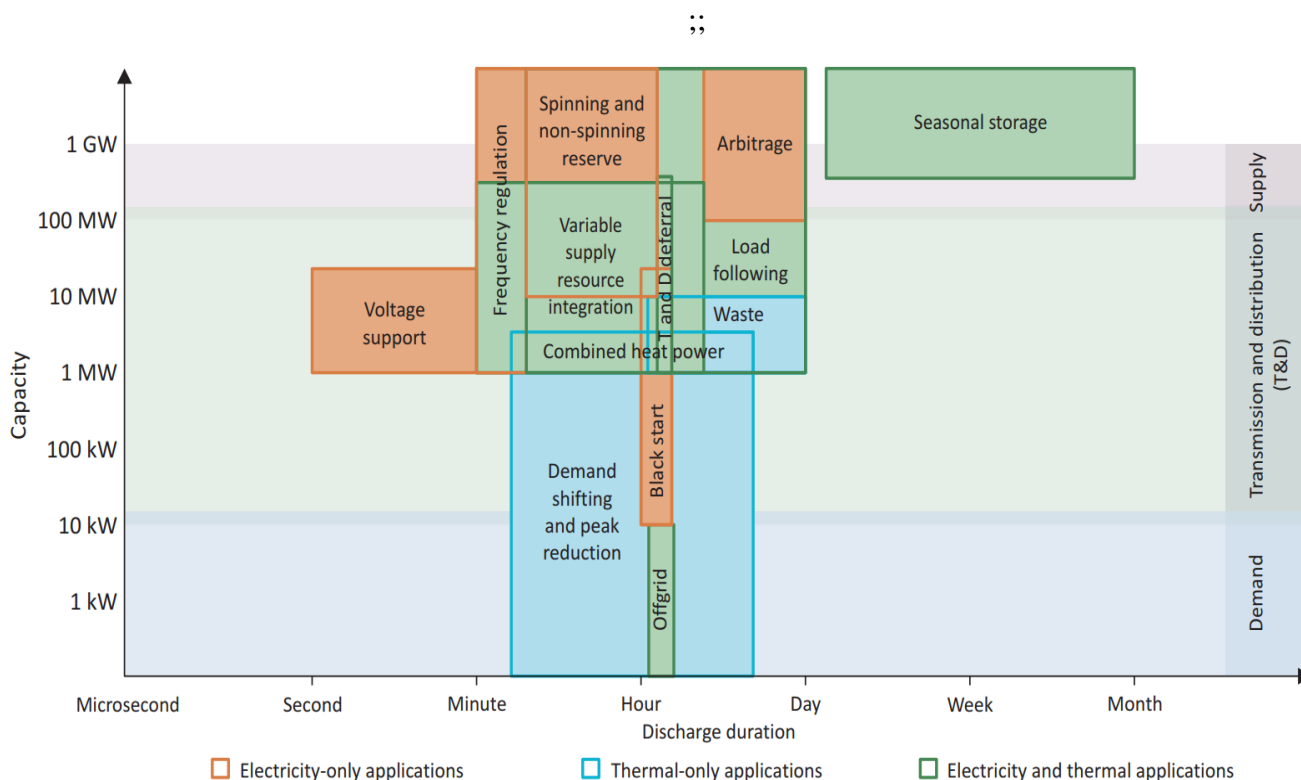
Pilotní projekt v této oblasti představil výrobce elektromobilů Nissan a energetická společnost Enel. V rámci tohoto projektu mohli majitelé vybraných elektromobilů nabíjet svá vozidla levnou elektrickou energií v období nízké poptávky a následně ji využívat doma nebo ji prodat zpět do sítě. [69]

4 FUNKCE BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ V DISTRIBUČNÍCH SÍTÍCH

Bateriové systémy mohou v síti plnit několik funkcí. Od úložiště vždy očekáváme zlepšení některého parametru nebo přidání schopnosti vedoucí k zvýšení kvality sítě. Požadavky kladené na BESS vycházejí vždy z požadavku na úpravu určitého parametru sítě.

BESS, primárně určené pro regulaci frekvence, bude mít kapacitu navrženou zejména pro krátkodobější dodávání výkonu (řádově jednotky či desítky minut). Výkon však musí odpovídat požadované míře regulace. Lze očekávat také čtenější střídání režimů nabíjení a vybíjení. U takového typu úložiště se nepředpokládá časté hluboké vybití (vybití většiny naakumulované energie) [127]

U sítí s předpokládaným nárůstem zdrojů vyznačujících se nestabilní výrobou můžeme zvýšení poptávky po schopnostech bateriových systému očekávat. Důležitou roli při návrhu úložiště bude hrát výsledná cena. [127]



Obr. 4-1 Výkon a doba akumulace pro různé aplikace [117]

BESS můžeme podle velikosti a aplikace rozdělit na dva typy. Prvním jsou tzv. **síťová BESS**, které mají zpravidla větší výkon a kapacitu. Poskytují služby v rámci celé sítě.

Druhým typem jsou **domácí BESS**, někdy také nazývané Powerwall. Jedná se menší úložiště sloužící primárně pro potřeby jednotlivých domácností. Oproti síťovým BESS se liší zejména nižším výkonem a kapacitou. Zpravidla se dodávají v kompaktním řešení a nevyžadují významnější údržbu. [87]

Účelem domácích BESS je zejména akumulace elektrické energie z lokálních obnovitelných zdrojů. Ve spojení s PV tak může být v noci využívána přes den naakumulovaná energie. V případě

proměnné ceny pro spotřebitele v průběhu dne může být také využíváno pro akumulaci levnější energie a jejímu pozdějšímu využití. Víceero centrálně řízených domácích BESS může být také využito pro vytvoření virtuální baterie a poskytovat tak služby v rámci celé sítě. [87]

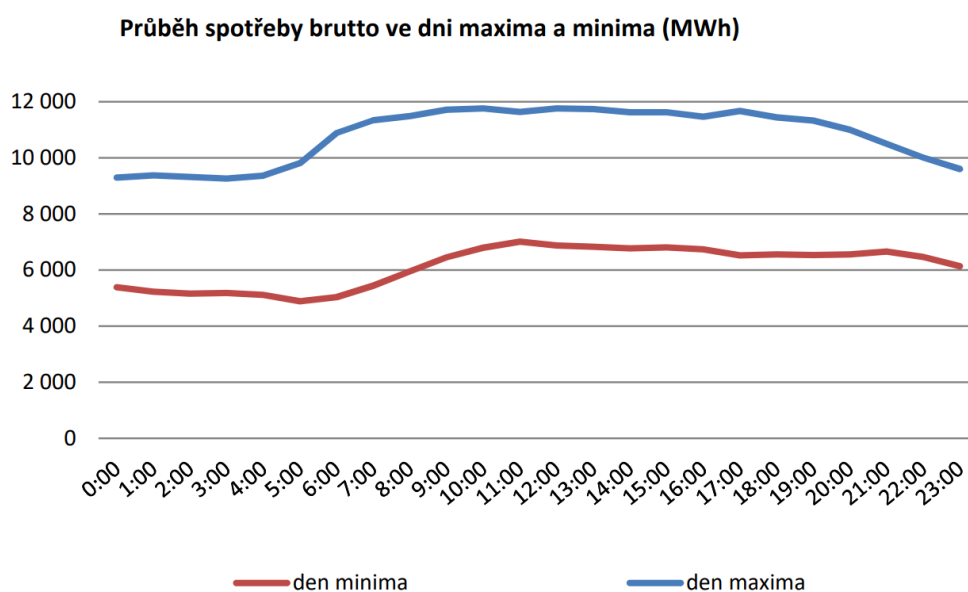
4.1 Akumulace energie

Akumulace energie (angl. Load leveling) zahrnuje ukládání energie v době, kdy je jí přebytek (v období nízké zátěže sítě) a její zpětný přenos do sítě v případě vysokého zatížení. [32]

Ukládání (akumulace) energie může být realizována v různých časových horizontech. Může se jednat o denní akumulaci, kdy zejména v noci je ukládána levná energie a přes den je v případě potřeby uvolňována. Může se však jednat také o akumulaci dlouhodobější, kdy například přes léto naakumulovaná energie může být uvolňována v průběhu zimy. Ta se označuje jako sezonní akumulace (angl. Seasonal storage).

Časovému horizontu musí odpovídat zvolená technologie. V současné době akumulace na delší dobu pomocí BESS není vhodná zejména kvůli neekonomičnosti výroby BESS se smysluplnou kapacitou.

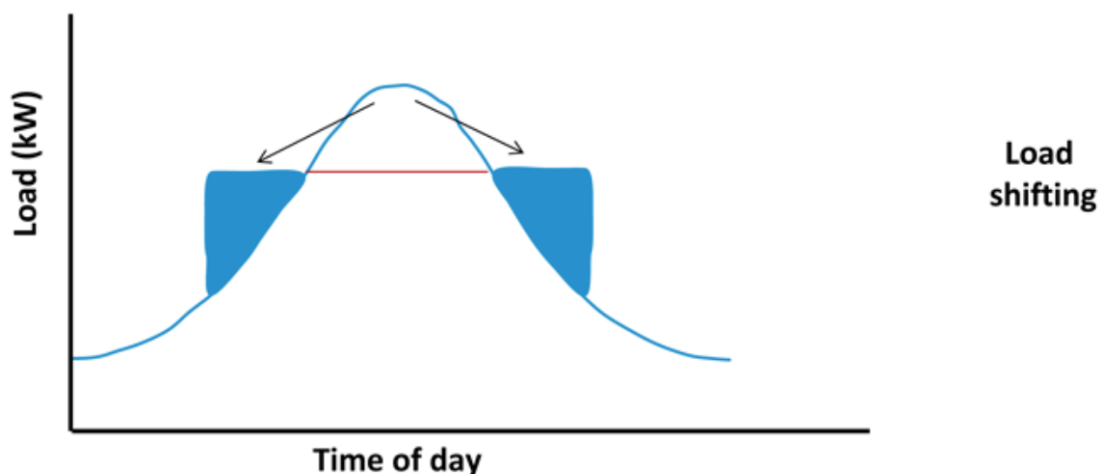
Průběh maximálního a minimálního denního zatížení v České republice v roce 2017 je vidět na Obr. 4-2.



Obr. 4-2 Průběh spotřeby brutto ve dni maxima a minima v ČR v roce 2017 [30]

Na grafu vidíme, že spotřeba (zatížení) sítě není v průběhu dne konstantní, ale je funkcí času. Vidíme, že v noci je spotřeba relativně nízká. V ranních hodinách dochází k nárůstu spotřeby a v průběhu dne je spotřeba vyšší. V nočních hodinách spotřeba klesá opět klesá.

Průběhy se v jednotlivých časových horizontech víceméně cyklicky opakují. Tomu je třeba přizpůsobit plánování fungování BESS.



Obr. 4-3 Zatížení sítě s BESS zajišťující denní akumulaci energie [68]

Akumulaci energie pomocí BESS je také možné využít pro virtuální zvýšení přenosové kapacity sítě. Tím lze oddálit nutnost zvýšení kapacity vedení. [52]

Přenosové vedení z pravidla není maximálně zatíženo neustále. V noci, kdy není odebíraný výkon tak velký, je možné využít nevyužívanou přenosovou kapacitu pro nabíjení BESS na konci vedení. Ve dne, kdy je potřebný výkon vyšší, než přenosová kapacita vedení je možné výkonový rozdíl nahradit právě pomocí BESS.

To se může být výhodné zejména v případech, kdy maximální požadovaný výkon není výrazně větší, než je přenosová kapacita, kde se neočekává v budoucnu výraznější zvýšení nároků na přenášený výkon a tam, kde by bylo nutné zvýšení přenosové kapacity na neúměrně dlouhém vedení.

4.2 Pokrytí špičkové spotřeby elektřiny

Další schopností BESS je vykrývání špičkového zatížení. V angličtině označováno jako „Peak shaving“. Vykrývání špiček je podobné akumulaci energie. Na rozdíl od něj je však více zaměřeno na redukování maximálního zatížení sítě než na ekonomický zisk. [32]

Cílem je vyvarování se nutnosti instalace zvýšené přenosové kapacity pouze z důvodu zajištění špičkového odběru vysoce proměnné zátěže³

4.3 Zvyšování kvality elektrické energie

Nástup digitalizace sebou přinesl výrazné rozšíření citlivých elektronických zařízení a mikroprocesorem řízeného ovládání. Tato zařízení jsou náchylná na různá rušení jako je například pokles napětí nebo krátkodobé výpadky napájení. Elektrická energie z distribuční sítě proto musí splňovat určité parametry. [32]

Meze a hodnoty charakteristických hodnot napětí v roce 2018 udává norma ČSN EN 50160 ed. 3. [32][14]

³ The goal is to avoid the installation of capacity to supply the peaks of a highly variable load. [32]

4.3.1 Regulace frekvence

V síti se okamžitá hodnota do sítě dodávaného výkonu musí rovnat okamžité hodnotě výkonu odebíraného. Vyrobená energie se tedy v každém okamžiku musí rovnat energii odebírané. Podle [25] lze tento stav vyjádřit vztahem:

$$S_v(t) = S_s(t) + S_z(t) + S_a(t) \quad (MVA; MVA, MVA, MVA) \quad (4.1)$$

Kde S_v představuje výrobu, S_s představuje spotřebu, S_z představuje ztráty a S_a představuje akumulaci.

Dojde-li k výpadku některého zdroje, sníží se celkový dodávaný výkon do sítě. Na to reaguje celá síť snížením frekvence, což je z hlediska kvality elektrické energie nepřípustné a musí dojít k rychlé nápravě. [25]

Reakce na výpadek se dělí podle pravidel uskupení ENTSO-E (z angl. European Network of Transmission System Operators for Electricity), do kterého patří také Česká republika, na tři stupně. [25]

Primární regulace (první stupeň) je zajištěn působením všech zdrojů zapojených v rámci propojené soustavy do primární regulace. Úkolem je zvyšovat nebo snižovat výkon zdrojů v rámci regulační oblasti a tím omezit pokles nebo růst během několika sekund. [25][58]

Sekundární regulace (druhý stupeň) automaticky udržuje frekvenci na jmenovité hodnotě a výkonovou rovnováhu regulační oblasti. Pro tuto regulaci je vyčleněna regulační záloha, která musí být k dispozici od 10 minut po vydání požadavku. [58][122]

Terciální regulace (třetí stupeň) slouží pro nahrazení vyčerpané sekundární regulační zálohy. [58]

Vhodně navržené BESS, využívající své schopnosti velmi rychle dodat do sítě relativně velký výkon se může velmi dobře uplatnit v rámci primární regulace.

4.3.2 Kompenzace jalového výkonu

BESS lze využít také pro kompenzaci jalového výkonu v síti. [65][96]

4.4 Točivá rezerva

Jednou z nejdůležitějších schopností sítě zajišťující její spolehlivost je schopnost všech generátorů nahradit ztrátu největšího generátoru v síti. V angličtině se tato schopnost označuje jako „spinning reserve“. [109]

K pojmu točivá rezerva lze v literatuře najít množství definic. [95] Mezi ně patří například:

Připojené generátory, synchronizované se sítí, které mohou zvýšit svůj výkon okamžitě v reakci na vážný výpadek a které mohou dosáhnout plného výkonu do 10 minut⁴

Celkový synchronizovaný výkon mínus ztráty a zatížení⁵

⁴ “generators online, synchronized to the grid, that can increase output immediately in response to a major outage and can reach full capacity within 10 minutes”[47]

⁵ „the total synchronized capacity, minus the losses and the load“ [125]

Jedna z nejpřesnějších definicí zní:

*Točivá rezerva je nevyužívaná výkonová kapacita, která může být aktivovaná na rozhodnutí síťového operátora a která je poskytována zařízením synchronizovaným se sítí, které je schopno ovlivnit činný výkon.*⁶

V praxi to znamená, že všechny připojené zdroje by měly mít několika procentní rezervu v dodávaném výkonu, kterou je možno okamžitě využít. Pro zajištění této schopnosti musí zdroje dlouhodobě pracovat na menším než jmenovitém výkonu. To má za následek jejich neoptimální využití. Právě BESS, udržované v dostatečně nabitém stavu, může poskytovat efektivní točivou rezervu připravenou na výpadek a dodávat tak v případě potřeby výkon před naběhnutím záložních zdrojů. [32][109]

*V závislosti na aplikaci je systém schopný reagovat v řádu milisekund nebo minut...*⁷

4.5 Efektivní připojení nestálých zdrojů

Se současným rozmachem obnovitelných zdrojů se začíná zvyšovat počet větrných a solárních elektráren v síti, která se vyznačují nestálostí výroby. BESS může tuto energii akumulovat a v případě potřeby uvolňovat do sítě. [52] [32]

4.6 Vyrovnávání výkonu menších sítí

U menších sítí, sloužících k napájení pouze malého počtu odběratelů (například na ostrově) je většina energie vyráběna z méně výkonných zdrojů. [52]

Takto malá síť má proto zpravidla problém s udržením rovnováhy mezi výrobou a spotřebou. [52]

Instalace BESS do takové sítě může zajistit stabilnější podmínky pro její funkci. [52]

4.7 Záložní zdroj energie

BESS může také sloužit jako záložní zdroj elektrické energie. V případě výpadku je schopno nezávisle dodávat uloženou energii do přilehlé oblasti. [52]

⁶ the spinning reserve is the unused capacity which can be activated on decision of the system operator and which is provided by devices which are synchronized to the network and able to affect the active power. [95]

⁷ Depending on the application, the system can respond within milliseconds or minutes... [32]

5 SOUČASNÉ PROJEKTY BESS

Bateriových úložišť se po světě provozuje celá řada. Databáze Global Energy Storage Database (Celosvětová databáze energetických úložišť), spravovaná U.S. Department of Energy (Ministerstvem energetiky USA) obsahuje v době psaní práce 742 úložišť využívajících technologii elektro-chemického ukládání energie, které jsou v provozu nebo ve výstavbě.⁸ Dalších 200 elektro-chemických úložišť je naplánovaných nebo ohlášených.⁹ [24]

5.1 BESS ve světě

Do dubna 2018 bylo největším bateriovým úložištěm úložiště Hornsdale. To se nachází poblíž města Jamestown na jihu Austrálie a bylo spuštěno v prosinci 2017. Úložiště, jehož realizaci zajistila americká společnost Tesla, vlastní společnost Neoen. BESS o výkonu 100 MW a kapacitě 129 MWh využívá baterie technologie Li-Ion. Cena úložiště se podle dostupných údajů pohybovala okolo \$64 miliónů. [48][5][81]

V dubnu 2018 převzalo prvenství bateriové úložiště v jihokorejském městě Ulsan společnosti Korea Zinc. Realizaci úložiště využívající Li-Ion baterie zajistila společnost Hyundai Electric. Úložiště o výkonu 150 MW vyšlo přibližně na \$45 miliónů. [56][50][49]

Tab. 5-1 Přehled ve světě existujících BESS

Název	Technologie	Výkon [MW]	Kapacita [MWh]	Cena [mil. \$]	Cena [mil. Kč]	Účel
Hornsdale Power Reserve BESS	Li-Ion	100	129	65	1447	Regulace frekvence, Akumulace energie
Korea Zinc BESS	Li-Ion	150	150	45	997	Zajištění dodávky elektřiny hutí ve špičkách, Efektivní připojení nestálých obnovitelných zdrojů

V současné době největší a nejvýkonnější Li-Ion BESS se plánuje v Německu. Jedná se o projekt pěti bateriových úložišť. Největší z nich má být vybudováno v obci Kupferzell v Bádensku-Württembersku. To má disponovat výkonem 500 MW. V rámci projektu mají být vybudovány také dvě další úložiště, každé o výkonu 300 MW a dvě menší, každé s výkonem 100 MW. Všechna úložiště tohoto projektu by tak měla disponovat celkovým výkonem 1300 MW. Plánované kapacity jednotlivých úložišť nebyly prozatím zveřejněny. V případě celkové kapacity 1300 MWh se náklady odhadují přibližně na 1,3 miliard eur. [121]

Další z významných projektů Li-Ion BESS má vzniknout v Kalifornii v USA. Jedná se o jedno ze čtyř bateriových úložišť projektu společnosti PG&E, který má za cíl pomocí BESS nahradit

⁸ Počet při podmínění vyhledávání technologií *elektro-chemickou* a statusem *v provozu* nebo *ve výstavbě*.

⁹ Počet při podmínění vyhledávání technologií *elektro-chemickou* a statusem *nasmalované* (angl. *Contracted*) nebo *ohlášené*.

3 plynové elektrárny. Realizaci tohoto úložiště má na starost společnost Vistra Energy. Úložiště má disponovat výkonem 300 MW a kapacitou 1200 MWh. [63][105]

Kromě tohoto úložiště jsou součástí zmiňovaného projektu také úložiště společnosti Tesla o výkonu 182,5 MW a kapacitě 730 MWh, úložiště společnosti Hummingbird Energy Storage o výkonu 75 MW a úložiště společnosti Micronoc Inc. o výkonu 10 MW. Všechny tyto úložiště také využívají baterie technologie Li-Ion. Dokončení celého projektu se očekává v roce 2020. [63][11]

Od všech výše zmiňovaných bateriových úložišť, využívajících technologii Li-Ion, se liší Čínský projekt společnosti Rongke Power na poloostrově Dalian. Ten bude využívat technologii vanadiových průtokových baterií. Toto úložiště o výkonu 200 MW a kapacitě 800 MWh má sloužit například k vykrývání špiček. Spuštěno by mělo být v roce 2020. [91][38]

Bateriové úložiště využívající průtokové redoxní baterie plánují postavit také v Německu. To by mělo disponovat výkonem až 120 MW s kapacitou až 700 MWh. [17][33]

Velké bateriové systémy jsou v současné době velmi dynamická oblast. Popsat všechny plánované projekty by bylo mimo rozsah této bakalářské práce. Výše uvedené projekty jsou však ty nejrozsáhlejší a nejzajímavější. [18]

5.2 BESS v České republice

V české republice jsou v současné době v provozu dvě bateriové úložiště.

První BESS otevřela v listopadu 2017 firma Solar Global v Prakšicích na Uherskohradištsku. Úložiště disponuje výkonem 1 MW a kapacitou 1,2 MWh. Baterie technologie Li-Ion umístěné v jednom kontejneru zajistila nizozemská společnost Alfen. Uložená energie se využívá při výkyvech distribučních soustav nebo při zvýšení poptávce po energii. Cena úložiště byla přes 20 miliónů korun. [107][27]

Druhé bateriové úložiště bylo spuštěno do zkušebního provozu v únoru 2018 firmou E.ON v Mydlovarech na Českobudějovicku. Maximální výkon 1,6 MW je dle smlouvy o připojení omezen na 0,99 MW. Kapacita úložiště je 1,75 MWh. Použitá technologie SIESTORAGE společnosti Siemens je umístěna ve dvou kontejnerech. První kontejner obsahuje vn rozvaděč 22 kV a transformátor 1250 kVA. V druhém kontejneru jsou Li-Ion baterie, Battery management systém, měniče, řídicí systém a další systémy zajišťující bezpečný provoz zařízení. [27][74]

Společnost Siemens garantuje dodržení hlavních parametrů 1MWh, 1 MW (kapacita, výkon) minimálně 10 let, respektive 6000 nabíjecích cyklů. Zařízení je projektováno na životnost 20 let. [74]

BESS bude primárně využito ke kompenzaci odchylek obchodníka s elektrickou energií. Úložiště má také sloužit k otestování dalších technických možností – rychlosti reakce, kapacity nebo vlivu na síť. Cena se pohybovala okolo 24 miliónů korun. [27][74]

Tab. 5-2 Přehled v ČR existujících BESS

Název	Technologie	Výkon [MW]	Kapacita [MWh]	Cena [mil. \$]	Cena [mil. Kč]	Účel
Solar Global BESS	Li-Ion	1	1,2	0,896	20	Zlepšování kvality sítě, akumulace energie
E.ON BESS	Li-Ion	1,6	1,75	1,076	24	Zlepšování kvality sítě, akumulace energie

Mezi plánované úložiště patří například úložiště společnosti ČEZ, které by se mělo nacházet v Tušimicích na Chomutovsku. Úložiště by mělo být postavené na technologii baterií Li-Ion a disponovat výkonem 3 MW. [27][103]

Společnost C-Energy Planá plánuje v areálu teplárny v Plané nad Lužnicí vybudovat úložiště technologie SIESTORAGE (využívající baterie Li-Ion) společnosti Siemens. Toto úložiště by mělo mít výkon 4 MW a kapacitu 2,5 MWh – stalo by se tak největším a nejvýkonnějším bateriovým úložištěm v ČR. [118][106]

V České republice jsou také společnosti, které sami dokáží vyrobit bateriové úložiště o velikosti vhodné pro distribuční síť. Takovou je například společnost Energon Advanced Energetics. Ta vyrobila a v současné době prodává bateriové úložiště technologie Li-Ion o výkonu 1 MVA a kapacitě 1 MWh. Cena tohoto úložiště se (bez transformátoru a rozvaděče) pohybuje okolo 19,5 miliónu korun. [31][34]

6 LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PŘIPOJENÍ BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ

Základním právním předpisem upravujícím oblast energetiky je zákon č. 458/2000 Sb. Jedná se o zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů neboli energetický zákon. Ten aktuálně upravuje novela 131/2015 Sb. [39][130]

Pojem akumulace nebo jiné pojmy související s ukládáním elektrické energie se dosud v energetickém zákoně neobjevují. Není tedy přesně stanoveno, jakým způsobem činnosti spočívající v akumulaci elektrické energie posoudit. Odborná veřejnost se z velké části shoduje, že na akumulaci elektrické energie je nutné nahlížet jako na výrobu elektrické energie [39][130]

Výrobnou elektřiny ve smyslu § 2 odst. 2 písm. a) bodu 18 energetického zákona rozumí energetické zařízení pro přeměnu různých forem energie na elektřinu. [39][130]

Jelikož principem akumulace BESS jsou přeměny mezi elektrickou a chemickou energií, můžeme dospět k závěru, že zařízení pro akumulaci elektrické energie má právní povahu výroby elektřiny ve smyslu energetického zákona. Pro provozování výroby elektrické energie (a tedy také BESS) je zpravidla nutné mít licenci na výrobu elektrické energie. Tuto licenci vydává Energetický regulační úřad (dále také ERÚ). Licence není nutná při splnění všech následujících podmínek: [39]

- Akumulátor neslouží k podnikání, ale pouze pro vlastní spotřebu
- Akumulátor svým instalovaným výkonem nepřesahuje 10 kW
- Ve stejném odběrném místě není připojena jiná výrobní držiteli licence

Na rozdíl od energetického zákona, který pojem akumulace elektrické energie dosud nezná, lze určitou definici nalézt v příloze č. 4 pravidel provozování distribuční sítě (dále také PPDS). Ta stanovuje, že akumulační zařízení je zařízení schopné absorbovat elektrickou energii, po určitou dobu ji v různých formách uskladnit, a poté elektrickou energii uvolnit. [21][90]

Elektrické akumulační zařízení (akumulační zařízení) je zařízení, schopné absorbovat elektrickou energii, po určitou dobu ji v různých formách uskladnit a poté elektrickou energii uvolnit. [90]

Příloha stanovuje, že při připojování nové výroby k síti o výkonu do 10 kW (při práci bez přetoku do distribuční soustavy) se výkon elektrického akumulačního zařízení neuvažuje, pokud je menší než 10 kW. Rozdíl je u ostatních výroben s akumulačním zařízením, kde se při posuzování připojení instalované výkony výroby a akumulačního zařízení zpravidla sčítají. [39]

Dle aktuální legislativy bereme, že instalovaný výkon akumulačního zařízení odpovídá výkonu střídače. Za instalovaný výkon fotovoltaických výroben s akumulačním zařízením se společným střídačem se pro účely PPDS za instalovaný výkon považuje vyšší z hodnot výkonu střídače akumulačního zařízení nebo součet jmenovitých hodnot všech instalovaných solárních panelů. Na základě toho můžeme předpokládat, že český energetický regulátor nebude bránit zapojení akumulátorů v případech, kdy jsou splněny podmínky pro provoz bez licence. V případě velkých instalací BESS lze rozvoj očekávat po novele energetického zákona. [39]

Ani již existující BESS v České republice nemají pro komerční dodávky do sítě patřičnou licenci. Společnost E.ON proto své úložiště v Mydlovarech provozuje pouze v testovacím režimu. Může ho také využít pro vykrývání části odchylek mezi skutečnou a nasmlouvanou spotřebou elektriny u svého obchodníka E.ON energie. Ten tak nebude muset část přebytečné energie prodávat a tu chybějící kupovat na trhu s elektřinou. Po úpravě legislativy se E.ON s bateriovým úložištěm mimo jiné plánuje podílet na poskytování systémových služeb. [114]

Ekonomicky nejzajímavější je regulace frekvence v přenosové síti, což je jedna ze systémových služeb, které nakupuje její provozovatel ČEPS [114]

V současné době se pracuje na zcela novém energetickém zákoně. Do tohoto zákona by již měly být doplněny práva a povinnosti provozovatelů akumulčních zařízení a specifikace licence na akumulaci elektrické energie. Aktualizovaný zákon by měl také reflektovat nejnovější nařízení orgánů Evropské unie z oblasti energetiky. [39][21]

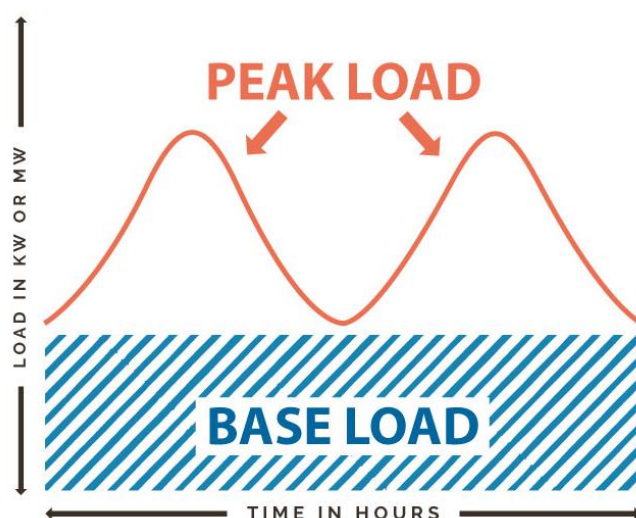
7 NÁVRH VELIKOSTI BESS PRO POKRYTÍ ŠPIČKOVÉHO ZATÍŽENÍ

Spotřeba elektrické energie obce není zpravidla konstantní. Průběh odběru (neboli ze sítě zajištěné spotřeby) popisují diagramy zatížení. Ty mohou popisovat různá časová období.

Denní diagram zatížení (Dále také DDZ) popisuje odběr objektu v průběhu jednoho dne. Spotřeba je v tomto rozsahu ovlivňována primárně střídáním dne a noci, případně střídáním pracovní a nepracovní doby. Týdenní diagram zatížení (TDZ) popisuje průběh odběru v rozsahu jednoho týdne a je ovlivňován střídáním pracovních a nepracovních dnů. Roční diagram zatížení (RDZ) popisuje odběr v průběhu roku a je ovlivňován primárně přírodními cykly. [82]

U všech těchto grafů je na svislé ose vynesena odebíraný výkon (zatížení sítě). Na vodorovné ose je vynesena čas (v rozsahu odpovídajícím typu grafu). Plocha pod křivkou výkonu odpovídá celkem odebrané energii.

Samotný průběh odběru lze popsat několika základními parametry. Nejnižší odebíraný výkon, a tedy výkon, který uvažovaný systém minimálně odebírá bez ohledu na polohu v diagramu zatížení, se nazývá základní zatížení (angl. base load). Maximální odebíraný výkon systému nazýváme špičkové zatížení (angl. peak load). [97]



Obr. 7-1 Základní parametry diagramu zatížení [97]

Při návrhu zařízení pro zajištění vykrývání špiček je důležité kromě analýzy současné spotřeby zohlednit také možný budoucí vývoj energetiky. V současné době se projevují dvě hlavní tendence, které je nutné při návrhu zohlednit. Jedná se o:

- Rozvoj elektromobility
- Zvyšování decentralizace zdrojů elektrické energie

Tyto tendence budou mít s postupem času v energetice stále výraznější vliv. Rozvoj elektromobility povede ke specifickému zvýšení nároků na dodávání elektrické energie. Zvyšování decentralizace se projevuje větším množstvím menších instalací obnovitelných zdrojů elektrické energie, jejichž výkon bude muset být vhodným způsobem distribuován spotřebitelům.

Cílem návrhu zařízení pro zajištění vykryvání špiček bude BESS zajišťující rovnoměrnější průběhu odběru.

Dojde tak ke snížení rozdílu mezi obdobím s nejvyšším a nejnižším odběrem. Vhodná míra zrovnoměnění závisí na mnoha faktorech. V případě obce má vliv zejména ekonomičnost. Je nutné porovnání pořizovacích nákladů, provozních nákladů a přidanou hodnotu BESS.

Stanovení ekonomického modelu je mimo rozsah této bakalářské práce. Cílem je proto stanovení optimálního množství naakumulované energie pro zajištění rovnoměrného odběru.

Návrh je rozdělen na několik částí. V první části je popsána problematika návrhu úložiště v podmínkách současné spotřeby obce. Následně je analyzován potenciál elektromobility (dále také EM) a fotovoltaiky (dále také PV). V následující části jsou popsány simulace různých variant v závislosti na roce, ročním období a míře rozšíření EM a PV. Součástí jsou také simulace několika speciálních případů.

Hlavní část predikce je vztažena pro rok 2035. Tento rok byl stanoven jak z důvodu dostatečného výhledu do budoucna (vzhledem k psaní práce v roce 2019 se jedná o výhled 16 let dopředu), tak z důvodu dostupnosti využitelných predikcí důvěryhodných institucí.

Ve všech těchto případech je stanovena energie potřebná pro vyrovnaní odběru. V případě návrhu reálného akumulčního zařízení je nutné navrhnout kapacitu vyšší. To je způsobeno jak ztrátami, které vznikají z důvodu nedokonalého nabíjecího cyklu, tak postupnou degradací článků, u kterých dochází k postupné degradaci jejich akumulčních schopností.

Z důvodů popsaných v následujících kapitolách je většina simulací zaměřena na denní průběh. Ten se z důvodu dostupných vstupních dat skládá z hodinových údajů. Pro sjednocení dat z různých kategorií jsou hodinová data ve formě průměrného hodinového výkonu. Můžeme proto uvažovat, že hodnota zobrazeného průměrného hodinového výkonu (v jednotce W v odpovídajícím řádu) je totožná s hodnotou v dané hodině odebrané energie (v jednotce Wh v odpovídajícím řádu).

Návrh potřebné kapacity je proveden pro několik modelových situací. Ty se liší přirozenou spotřebou obce, stupněm rozšíření EM nebo počtem instalací PV. Vliv těchto částí vychází z predikce uvedené dále v této práci. Pro každou modelovou situaci je uvažován vliv jednotlivých částí v měsících červenec a prosinec. Ty byly vybrány jako měsíce s nejvyšším a nejnižším ziskem PV. Rozdílné roční období se projeví také na spotřebě domácností a spotřebě EV. [83]

7.1 Návrh BESS pro pokrytí špičkového odběru obce Moravany

Pro návrh bateriového úložiště byla vybrána obec Moravany. Jedná se o obec nacházející se v Jihomoravském kraji v okrese Brno-Venkov, kterou lze nalézt na souřadnicích 49°08'48.1"N 16°34'36.3"E. V obci žije k 1.1.2019 celkem 3070 obyvatel. [16][110]

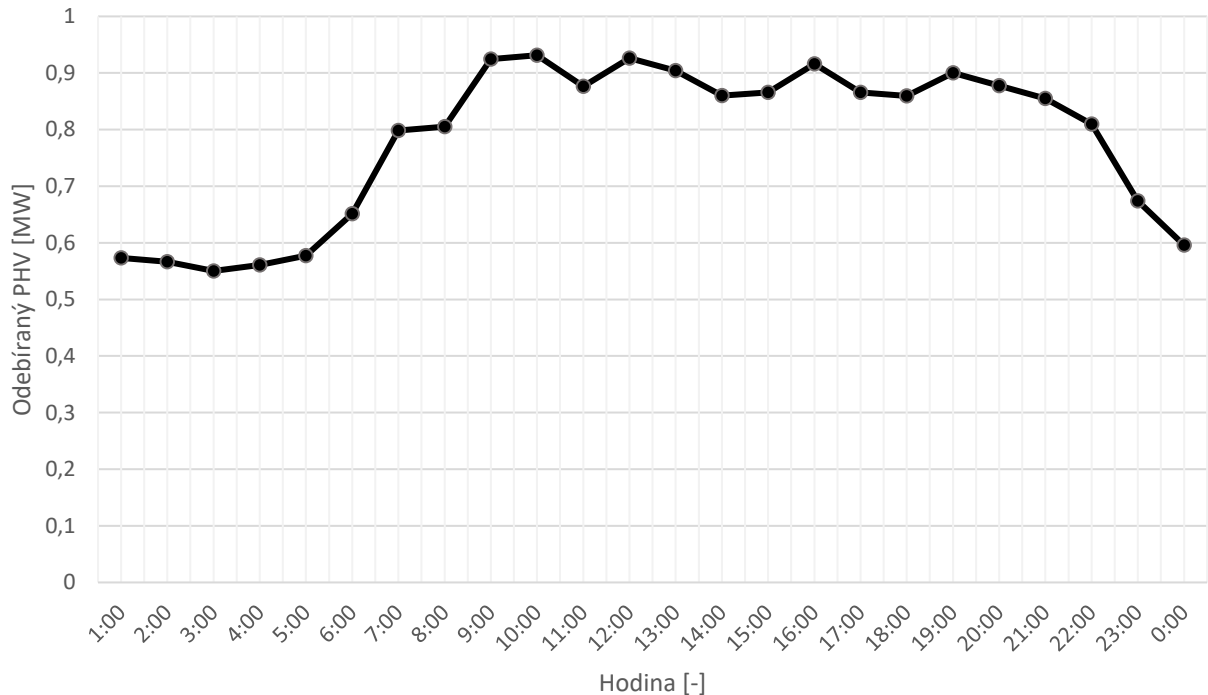
Tato obec byla vybrána zejména z následujících důvodů: [112]

- 1) Vysoký FV potenciál oblasti
- 2) Satelit velkého města (vyšší kupní síla obyvatel)
- 3) Velké množství novostaveb (zejména RD/BD)
- 4) Vysoké zastoupení rodinných domů (s možností instalace PV)

Obec se nachází na distribučním území společnosti E.ON. Je napájena dvěma přírady V1275 a V1375 na napěťové hladině 22 kV. Návrh vychází z dat poskytnutých společností E.ON zpracovaných v [100]. Data jsou ve formě odebíraného průměrného hodinového výkonu (dále také

odebíraného PHV) celé obce. V této práci jsou využita data od 2.1.2016 do 31.12.2018. V určitých částech jsou využity data již od 1.1.2014.

Návrh úložiště vychází z nalezení vhodné periodicity, na které bude úložiště pracovat. K jejímu nalezení lze využít data o současné spotřebě. U obce Moravany byla z dostupných dat zjištěna nejkratší periodicita způsobená střídáním dne a noci neboli denní periodicita.



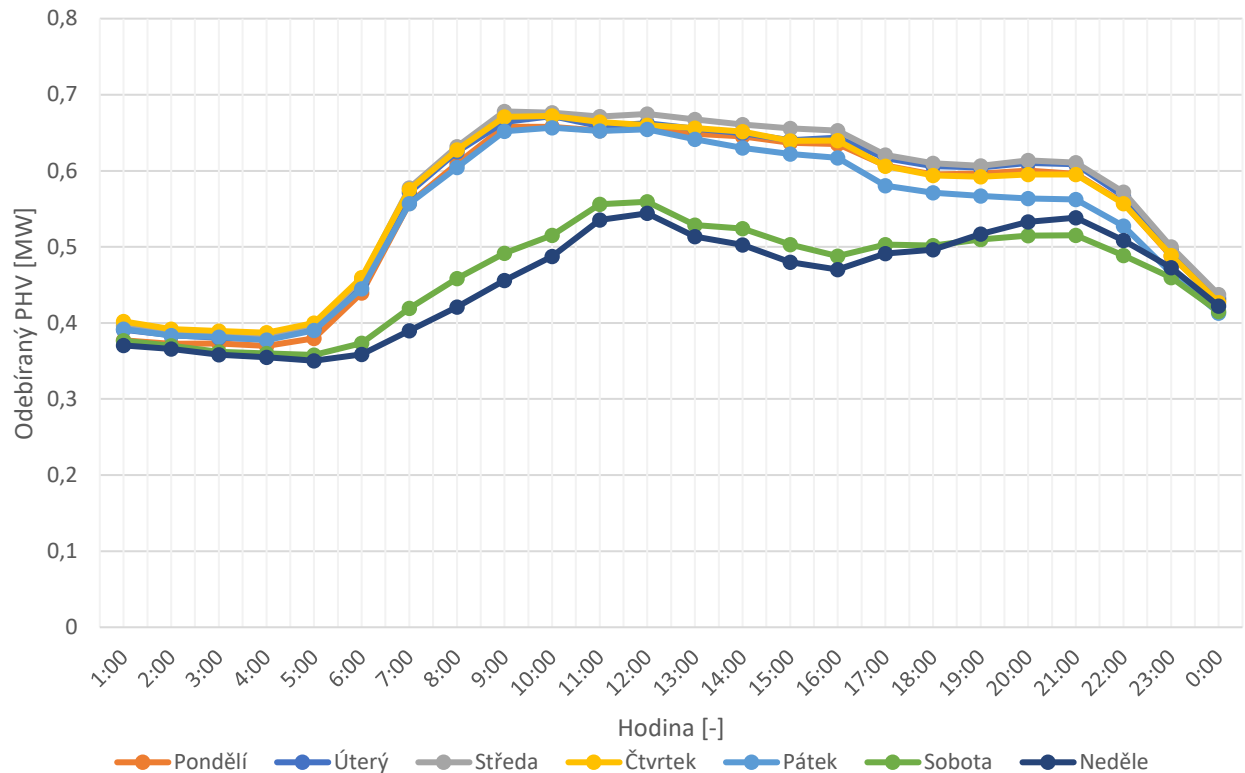
Obr. 7-2 Odebíraný PHV obce Moravany (5.1.2016)

Odebíraný PHV se v uvažovaném období mění v závislosti na mnoha parametrech. V naprosté většině dní má však průběh několik charakteristických rysů. Ty můžeme demonstrovat na odebíraném PHV z úterý 5.1. 2016, který je zobrazen na Obr. 7-2.

Vidíme, že v brzkých ranních hodinách se odebíraný PHV pohybuje v porovnání se zbytkem dne v relativně nízkých hodnotách. Okolo 5. hodiny ranní se odebíraný PHV zvyšuje a okolo 10. hodiny dosahuje své maximální hodnoty. Do přibližně 21:00 odebíraný PHV pouze lehce klesá. Následně se dále snižuje až do nočního minima.

Přesné hodnoty v jednotlivých hodinách se liší v závislosti na vybraném dni. Snížení odebíraného PHV v nočních hodinách je však u naprosté většiny dní.

Rozdíly můžeme nalézt například mezi pracovními a nepracovními dny.

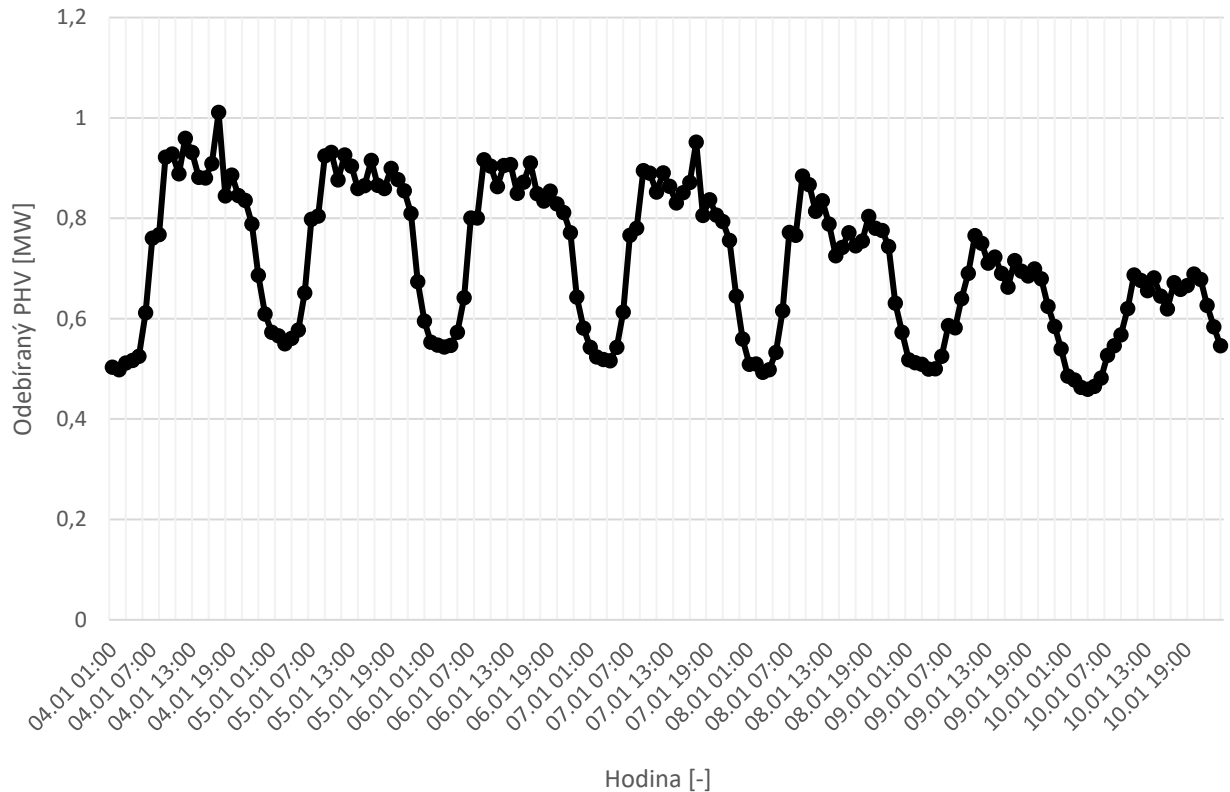


Obr. 7-3 Průměrné průběhy odebíraného PHV podle dne

Obr. 7-3 ukazuje průměrné průběhy odebíraného PHV podle dne. Průběhy pro jednotlivé dny jsou vytvořeny zprůměrováním daného typu dne (například pondělí) v uvažovaném časovém rozsahu. Je zřejmé, že pracovní dny mají velmi podobný průběh. O víkendu je zřejmý snížený odebíraný PHV. Víkendové maximum také nastává později než v případě pracovních dní.

U neděle a částečně také u soboty je vidět mírně odlišný průběh. Zatímco u pracovních dní se maximální odebíraný PHV objeví okolo 9. hodiny a mírně klesá až do nočních hodin, u víkendových dní se objevují dvě špičky – první okolo 12. hodiny a druhá okolo 9. hodiny večerní.

Porovnání odběrů jednotlivých dní je možné také z grafu o stupeň vyšší periodicity – týdenní periodicity.

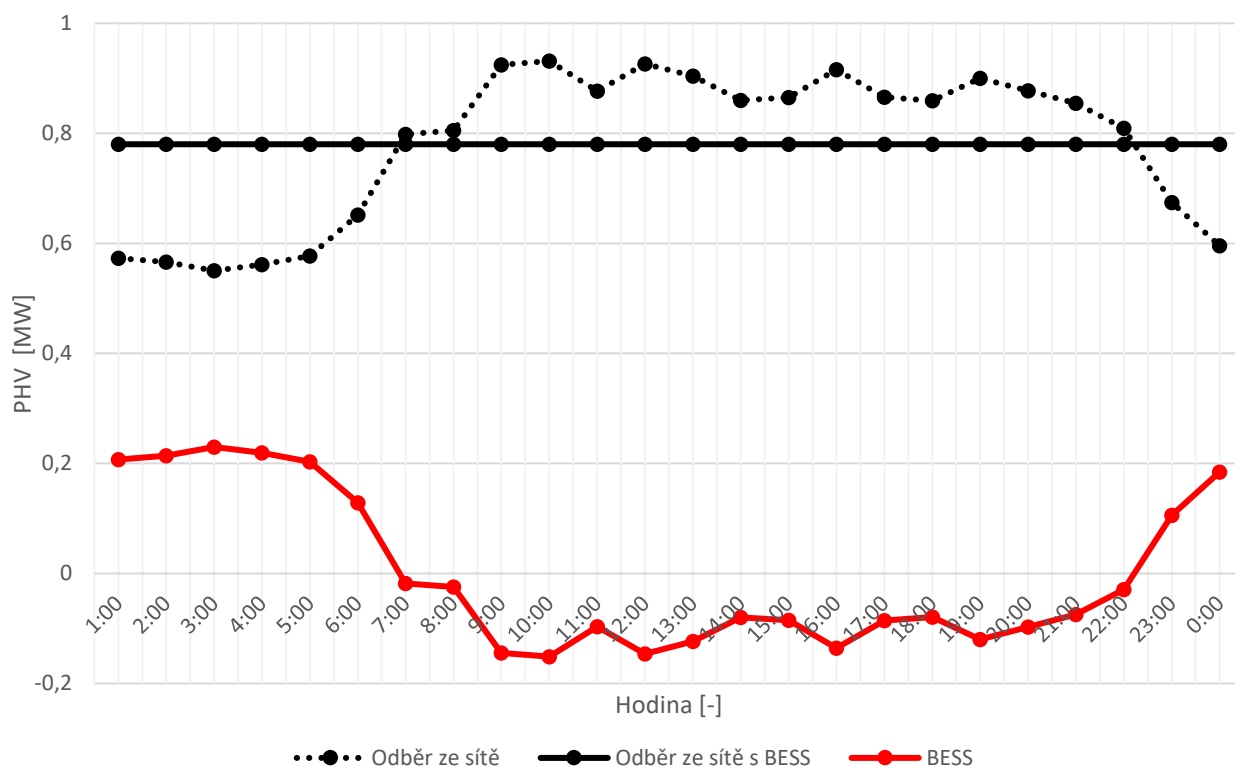


Obr. 7-4 Odebíraný PHV obce Moravany – týdenní rozsah (4.1.–10.1.2016)

Opět vidíme, že v pracovních dnech je odebíraný PHV vyšší. Zároveň je dobře vidět snížený odebíraný PHV v nočních hodinách.

Tento charakter průběhu týdenního odběru je více méně podobný v rámci celého roku. V závislosti na ročním období se může měnit maximální nebo minimální odebíraný PHV. Charakter odebíraného PHV je však velmi podobný.

Z výše zmíněného tedy můžeme stanovit, že rozsah, na který má smysl velikost bateriového úložiště navrhovat, je denní periodicitu. Předpokládáme, že úložiště je možné v průběhu noci nabít tak, aby mohlo následující den nahradit špičkové zatížení. Pro tuto periodicitu tedy budeme hledat optimální kapacitu.



Obr. 7-5 Denní průběhy v obci Moravany s BESS (5.1.2016)

Akumulační kapacitu, potřebnou pro pokrytí špičkového zatížení v rámci jednoho dne stanovíme z denního průběhů odebíraného výkonu. Konstantní odebíraný výkon, potřebný pro zajištění stejného množství energie jako v případě proměnného odebíraného výkonu odpovídá průměrnému odebíranému výkonu daného dne.

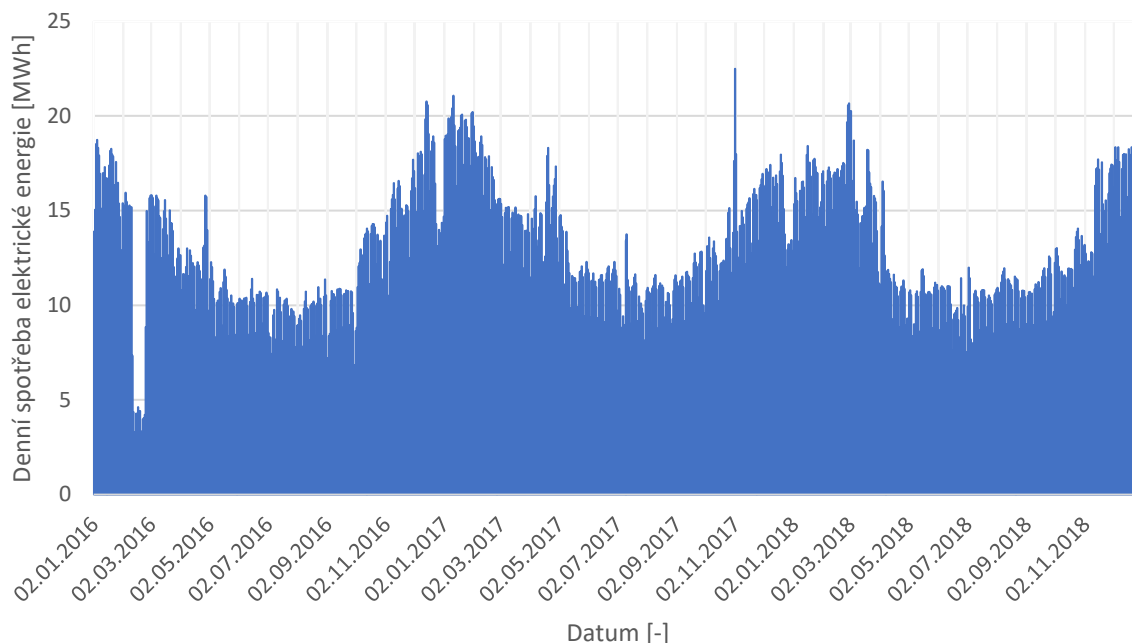
$$PHV_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n PHV_i}{n} \quad (7.1)$$

Kde je PHV_{avg} průměrný PHV v uvažovaném období, PHV_i je PHV v dané hodině a n je počet hodin.

Můžeme říci, že pokud všechnu energii nad průměrným odebíraným výkonem přesuneme do časů s odebíraným PHV menším než průměrným výkonem, dosáhneme konstantní odebíraný PHV v průběhu celého dne.

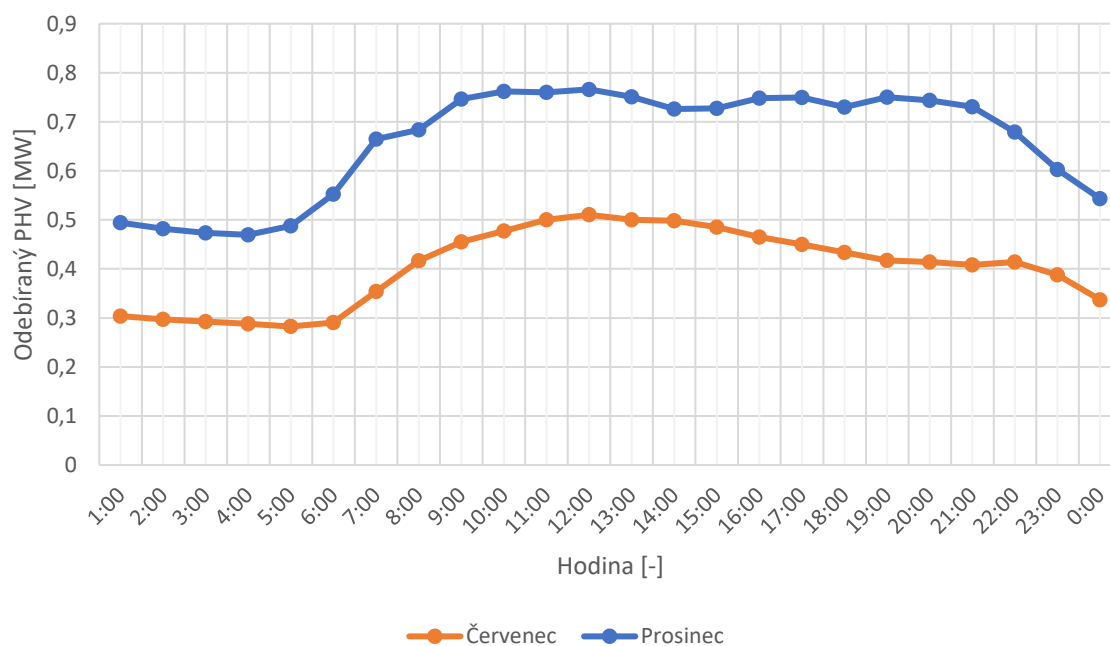
Přesun odebíraného PHV z oblastí s vyšší PHV do oblastí s nižší PHV má pokrýt právě bateriové úložiště. Průběh jeho funkce je vidět na Obr. 7-5 .

Předpokládáme, že úložiště bude fungovat v průběhu celého roku. Při návrhu je tedy nutné zohlednit odběr elektrické energie po celou tuto dobu.



Obr. 7-6 Denní spotřeba elektrické energie v obci Moravany

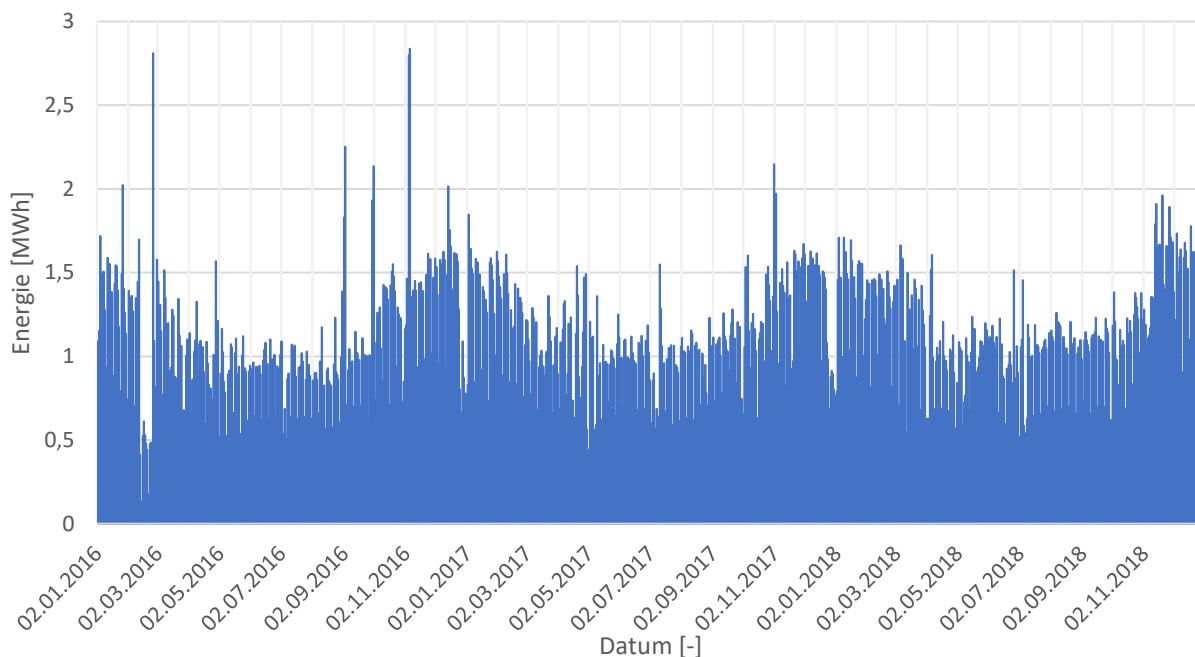
Celková denní spotřeba elektrické energie obce Moravany mezi roky 2016 a 2018 je vidět na Obr. 7-6. Je zřejmá závislost množství odebírané energie na ročním období. V zimních měsících, při kterých jsou vyšší energetické nároky (například z důvodu vytápění) je zřejmá výrazně vyšší spotřeba. V letních měsících je spotřeba nižší.



Obr. 7-7 Průběh odebíraného PHV obce Moravany – červenec, prosinec

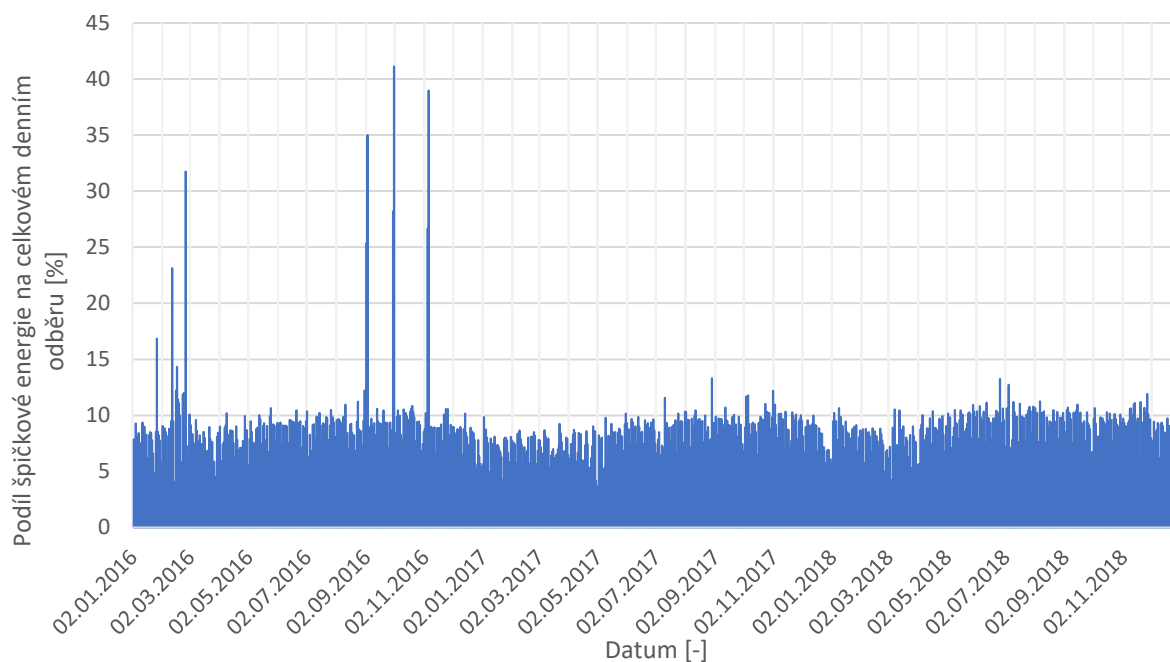
Na Obr. 7-6 je zároveň vidět další stupeň periodicity – roční periodicitu. Až na pár mimořádných událostí, jako je například práce na vedení v únoru 2016, můžeme vidět podobnost v charakteru odběru mezi jednotlivými roky.

Co nás při návrhu zajímá nejvíce je však energie, kterou musíme být schopni naakumulovat pro dosažení rovnoměrného odebíraného výkonu. Tu popisuje Obr. 7-8



Obr. 7-8 Denní energie nutná pro zajištění konstantního odběru

Také energie potřebná pro vyrovnaní odběru závisí na ročním období. V průměru odpovídá 10 % celkem odebrané denní energie.



Obr. 7-9 Podíl špičkové denní energie na celkovém denním odběru

Z těchto dat můžeme určit, že při požadavku na zajištění denního rovnoměrného odebíraného výkonu v uvažovaném období by muselo být úložiště schopno dodat energii následovně:

Tab. 7-1 Energie nutná pro vyrovnání denního odběru mezi roky 2016 a 2018

Procento dní s vyrovnaným odběrem [%]	Nutná naakumulovaná energie [MWh]
100	2,84
99	1,93
95	1,60
90	1,50
75	1,26
50	1,02

Výrazný rozdíl v horní části tabulky (mezi 100 a 99 %) je způsobem několika mimořádnostmi, které se v uvažovaném období objevily. Jedná se o události neobvyklé a při návrhu úložiště pro vyrovnávání špiček je nemá smysl uvažovat.

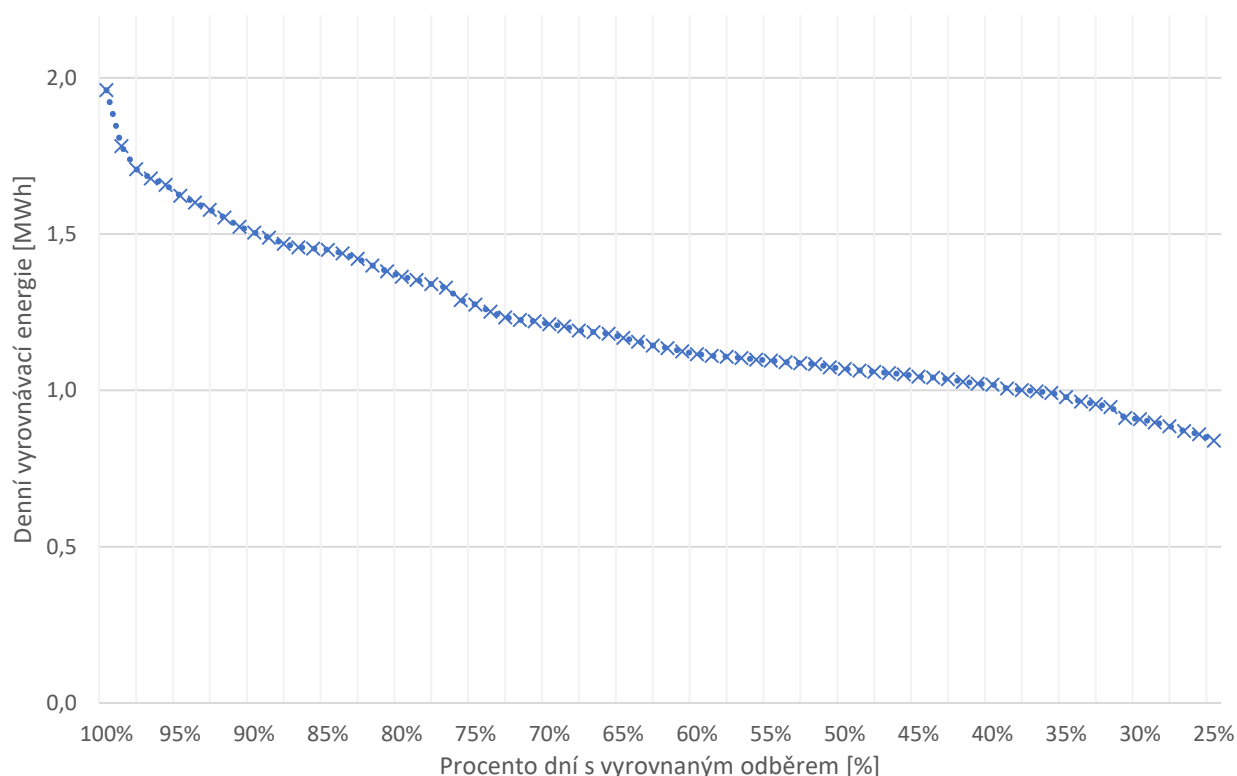
Při návrhu na současné hodnoty odběru nás zajímají nejaktuálnější data. Hodnoty odběru z nejaktuálnější relevantní periodicity – tedy celého roku 2018 jsou v Tab. 7-2.

Tab. 7-2 Energie nutná pro vyrovnání denního odběru v roce 2018

Procento dní s vyrovnaným odběrem [%]	Nutná naakumulovaná energie [MWh]
100	1,96
99	1,78
95	1,62
90	1,51
75	1,27
50	1,07

V tomto roce se již neobjevují mimořádné události, které by výrazněji zkreslovali velikost kapacity nutné pro akumulaci.

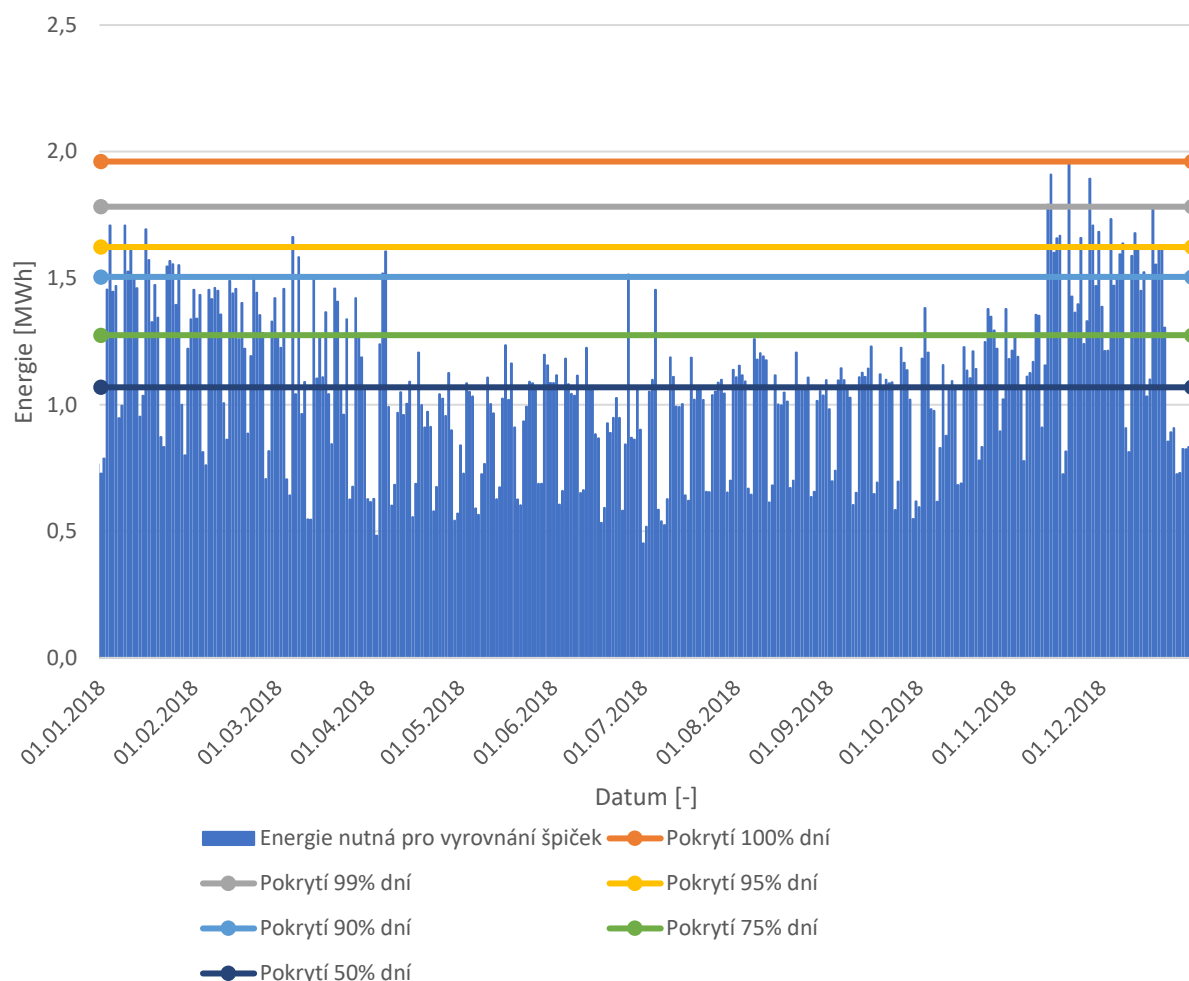
Závislost množství dní s vyrovnaným odběrem na velikosti úložiště můžeme vykreslit v grafu.



Obr. 7-10 Závislost vyrovnávací energie na procentu vyrovnaných dní

I v tomto průběhu, ve kterém se neobjevují výraznější neobvyklé události, vidíme, že návrh na vyrovnání ve 100 % dní nemusí být ekonomicky nejrozmumnější. Při relativně malém ústupku ze 100 % na 98 % zajištěných dní můžeme snížit nutnou energii o 0,25 MWh (z 1,96 MWh na 1,71 MWh). Při snížení počtu vyrovnaných dní o 2 % tedy můžeme snížit potřebnou kapacitu o 13 %.

Za hranicí 98 % se již průběh výrazněji přibližuje lineární závislosti a dalším snižování počtu vyrovnaných dní již nezískáme tak výraznou úsporu potřebné kapacity.



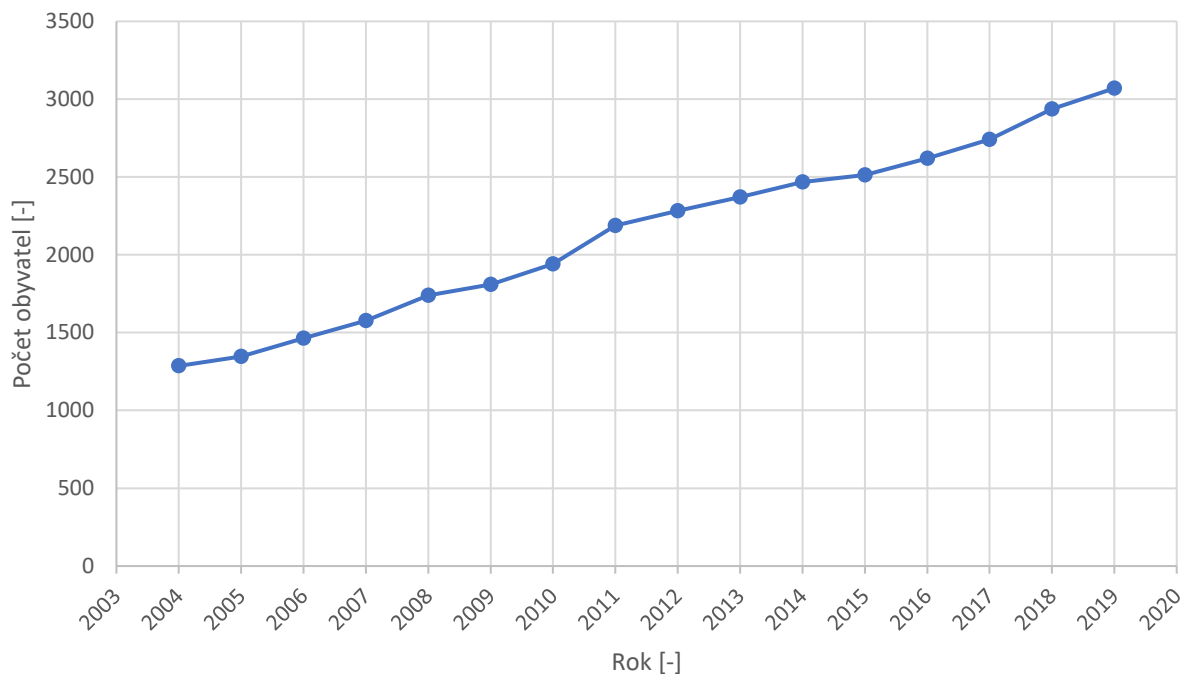
Obr. 7-11 Porovnání energie nutné pro pokrytí špiček s navrženou kapacitou akumulace

Rozložení pokrytých dní je vidět na grafu výše. Vidíme, v jakých dnech nebudeme schopni, při určité kapacitě akumulárního zařízení, vyrovnat odběr vesnice. Návrh pro zajištění vyrovnání 100 % dní je schopen pokrýt nároky na akumulaci po celý rok. Většinu času však bude část kapacity nevyužita. Úložiště schopné vyrovnání 95 % dní bezpečně zajišťuje vyrovnání v letních měsících. V zimních obdobích však již nestačí na úplné pokrytí a v dnech náročnějších na spotřebu již nebude schopno vyrovnání odběru zajistit. Při schopnosti pokrytí 50 % dní můžeme počítat s absolutním vyrovnáním odběru pouze v letních měsících. I v tomto období se však objeví dny na jejichž vyrovnání nebude akumulární kapacita dostatečná.

Ekonomická rentabilita však nezávisí pouze na počtu pokrytých dní. Za určitých podmínek může být nejvýhodnější instalace se schopností pokrýt menší počet dní.

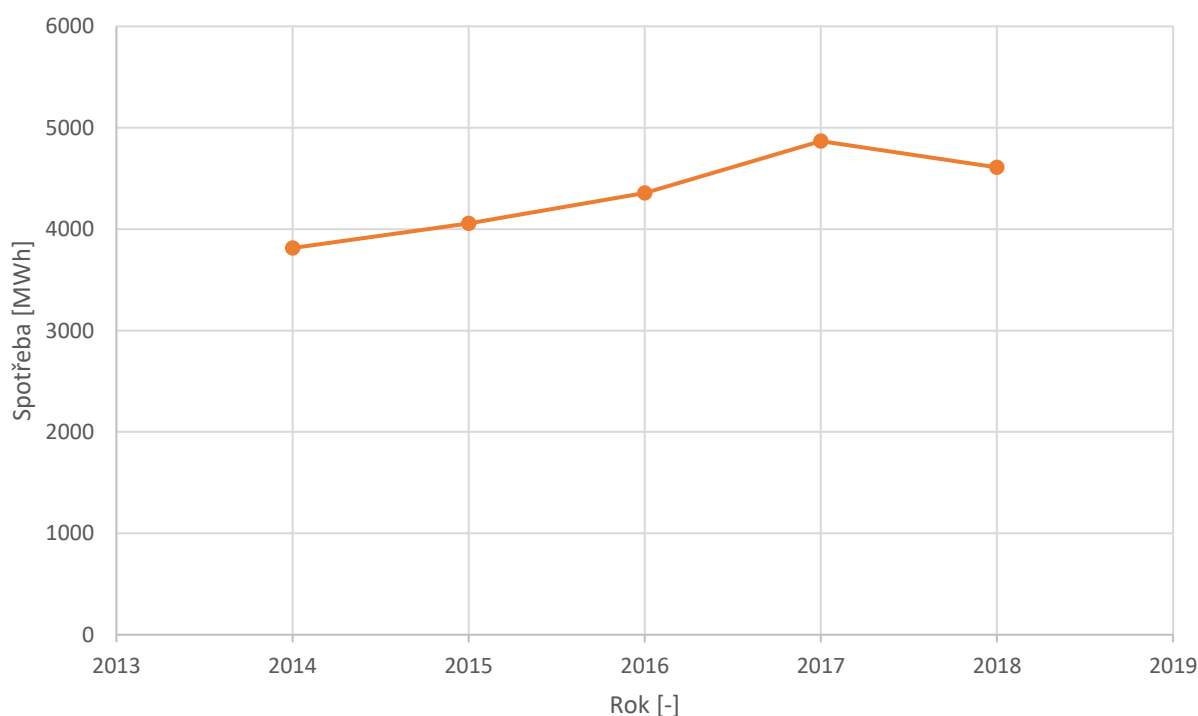
7.2 Vyhodnocení vývoje obce Moravany

V obci Moravany dochází k relativně stálému nárůstu obyvatel. Podle dat ČSU bylo k 1.1.2014 v obci 1286 obyvatel. Nejaktuálnější dostupná data k 1.1.2019 říkají, že v obci žije 3070 obyvatel. V průměru přibude 119 obyvatel každý rok. [10]



Obr. 7-12 Vývoj počtu obyvatel obce Moravany [10]

Spotřeba obce roste také. Její vývoj mezi 2014 až 2018 zobrazuje Obr. 7-13



Obr. 7-13 Vývoj spotřeby obce Moravany [100]

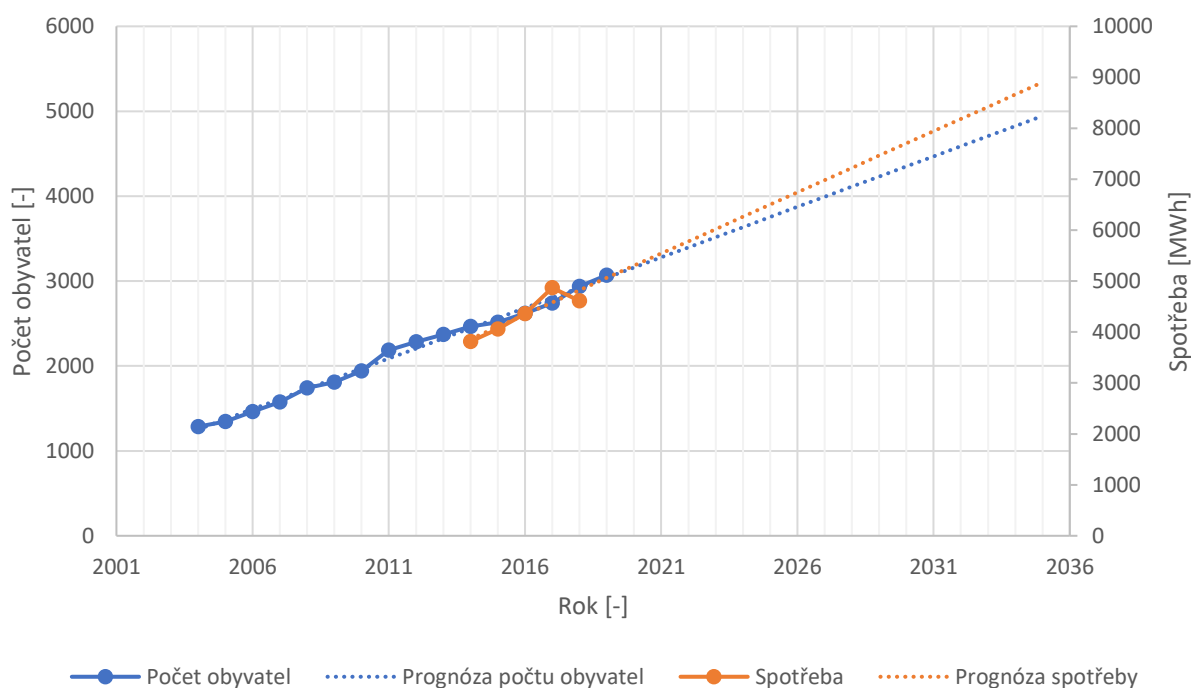
Pro potřeby simulace pro rok 2035 je nutné stanovit jak očekávaný počet obyvatel, tak očekávanou spotřebu.

Podle dat ČSU žilo v ČR k 1.1.2004 celkem 10 211 455 obyvatel. K 31.12.2018 to potom bylo 10 649 800 obyvatel. To činí nárůst o 438 345 obyvatel neboli nárůst o 4,29 %. Podle vysokého očekávaného vývoje celkového počtu obyvatel v ČR zpracovaného v [86] bude v roce 2035 v ČR celkem 10 837 000 obyvatel. To činí nárůst o 187 200 obyvatel neboli nárůst o 1,76 %. [80]

V obci Moravany přibýlo mezi roky 2004 a 2019 celkem 1784 obyvatel. To odpovídá nárůstu o 138,72 %. [10]

Z dat vyplývá, že nárůst obyvatel obce Moravany neodpovídá celorepublikovému růstu. Výrazné zvýšení počtu obyvatel v obci je způsobeno vnitrostátní migrací. Ta je podle výše uvedeného prakticky konstantní. Pro prognózu pro rok 2035 budeme předpokládat lineární nárůst obyvatel.

Lineární nárůst budeme pro zjednodušení předpokládat také u celkové spotřeby.



Obr. 7-14 Prognóza vývoje počtu obyvatel a spotřeby obce Moravany

Podle této prognózy se bude v roce 2035 v obci Moravany nacházet 4945 obyvatel. Roční spotřeba domácností bez vlivu EM a PV bude 8902 MWh. To odpovídá nárůstu obyvatel o 68,37 % a nárůstu spotřeby o 93,19 %.

Tab. 7-3 Počet obyvatel a spotřeby obce Moravany v roce 2018 a 2035

	Počet obyvatel	Roční spotřeba [MWh]
2018	2937	4608
2035	4945	8902

7.3 Vyhodnocení potenciálu elektromobility v obci Moravany

Při návrhu bateriového úložiště je nutné počítat také s nástupem elektromobility. Ta je v současné době z pohledu jedné vesnice prakticky zanedbatelná. Predikce je proto zaměřena na výhled do budoucna, přesněji na rok 2035.

Pro stanovení počtu elektromobilů (dále také EV) v obci Moravany v roce 2035 byla navržena metoda vycházející z demografických údajů Českého statistického úřadu (dále také ČSÚ), dat svazu dovozců automobilů (dále také SDA), centrálního registru vozidel ministerstva dopravy (dále také CRV) a predikce elektromobily v ČR zpracované v Národním akčním plánu čisté mobility (dále také NAP CM).

Podle dat ČSÚ žilo v ČR k 31.12.2018 celkem 10 649 800 obyvatel. [80] Podle dat SDA se v prosinci v roce 2018 nacházelo 5 802 520 osobních automobilů (dále také OA). [89] Z těchto dat byla stanovena automobilizace (počet osobních vozidel na 1000 obyvatel) na 544,85 automobilů na 1000 obyvatel. Podle vysokého očekávaného vývoje celkového počtu obyvatel v ČR, zmiňovaného v kapitole 7.2 Vyhodnocení vývoje obce, bude v roce 2035 v ČR celkem 10 837 000 obyvatel.

Náhled na budoucí vývoj automobilizace můžeme najít v [6]. Podle těchto prognóz (uvažována prognóza společnosti EDIP z roku 2009 a prognóza ředitelství silnic a dálnic (dále také ŘSD) z roku 2017) se bude automobilizace v České republice v roce 2035 pohybovat okolo 600 OA na 1000 obyvatel. Po přepočtu tato úroveň automobilizace odpovídá 6 502 200 OA. NAP CM z roku 2015 předpokládá v roce 2035 celkem 371 000 EV. [75] EV tedy budou tvořit 5,7 % všech OA.

Obec Moravany má podle [85] k 1.1.2019 celkem 3070 obyvatel. Podle dat CRV se v obci k 1.1.2019 nachází 1518 OA. [111] Z těchto dat byla stanovena automobilizace 494,46 OA na 1000 obyvatel.

Za předpokladu zachování poměru automobilizace z roku 2018 můžeme v Moravanech očekávat automobilizaci 544,51 OA na 1000 obyvatel. To podle predikovaného počtu obyvatel v roce 2035 v obci Moravany odpovídá přibližně 2692 OA. Za předpokladu rovnoměrného rozšíření EV v ČR můžeme v obci Moravany očekávat v roce 2035 přibližně 154 EV.

Tab. 7-4 Stanovený počet OA a EV v roce 2035

	Počet OA	Počet EV
ČR	6 502 200	371 000
Moravany	2692	154

Při popisu metody stanovení počtu EV je vhodné zmínit také aktualizace NAP CM z roku 2018. Ta předpokládá budoucí počet EV vyšší, než bylo uváděno v původní verzi z roku 2015. Přesný počet EV bohužel nezmiňuje. Je přítomný graf obsahující 3 trajektorie – nízkou, střední a vysokou. Při využití vhodného softwaru je možné odhadnout na grafu vyznačené hodnoty. V roce 2035 předpokládá nízká trajektorie přibližně 220 000 EV, střední trajektorie přibližně 550 000 EV a vysoká trajektorie přibližně 1 600 000 EV. K těmto datům však není dostatečný popis a je zřejmá jejich čistě ilustrativní podoba. [73]

Zmínit lze také predikci SDA. Ta předpokládá 217 00 EV v roce 2030. To je ještě méně, než předpokládá původní znění NAP CM. To v roce 2030 předpokládá 255 000 EV. [60]

Z důvodu nedostatečného popisu predikce v aktualizaci NAP CM a rozporu s predikcí SDA bude ve výpočtech v této bakalářské práci použit počet EV stanovený na základě původního znění NAP CM.

Kromě počtu samotných EV ve vozovém parku je nutné stanovit také jejich strukturu. V obecné rovině spadají do EV čistě elektromobily (dále také BEV) a hybridy neboli vozidla, u kterých elektromotor doplňuje standardní spalovací motor (dále také PHEV). Z hlediska relativně malých kapacit PHEV budeme předpokládat, že všechna uvažovaná vozidla jsou typu BEV.

Analýzu v ČR registrovaných EV za rok 2018 zpracovalo centrum dopravního výzkumu. To vycházelo z dat SDA. [120] Výčet deseti nejčastěji registrovaných BEV, včetně parametru stanovených pomocí [28] je v Tab. 7-5¹⁰:

Tab. 7-5 Deset nejčastěji registrovaných BEV v ČR v roce 2018[120]

N.	Typ	Počet registrací	Využitelná kapacita [kWh]	Dojezd [km]	Spotřeba [kWh/100 km]
1	VW Golf	260	32,0	190	16,84
2	Nissan Leaf	123	38,0	230	16,52
3	BMW i3	89	37,9	235	16,13
4	Tesla	85	95,0	525	18,10
5	VW e-Up!	48	16,0	95	16,84
6	Hyundai IONIQ	39	28,0	195	14,36
7	Nissan NV200	16	38,0	190	20,00
8	Kia SOUL	15	30,0	175	17,10
9	Jaguar I-PACE	13	84,7	380	22,29
10	Renault ZOE	8	41,0	260	15,77

U některých z těchto typů BEV se již plánují nové generace. [28] Ty shrnuje následující tabulka:

Tab. 7-6 Nové plánované generace nejčastěji registrovaných BEV v ČR v 2018 [28]

Typ	Využitelná kapacita [kWh]	Dojezd [km]	Spotřeba [kWh/100 km]
Nissan Leaf e+	60,0	350	17,14
VW e-Up! Gen 2	36,0	220	16,36
Hyundai IONIQ	38,3	265	14,45
Kia e-Soul 39 kWh	39,2	230	17,04
Kia e-Soul 64 kWh	64,0	370	17,30
Renault Zoe Gen 2	60,0	360	16,67

V rámci simulace je také nutné stanovit chování uživatelů BEV. Vzhled do této problematiky mohou poskytnout studie ze severovýchodních evropských zemí, kde mají již v současné době s EM

¹⁰ Parametr dojezd vychází z parametru „EVDB Real range“ uváděným v [28]

rozsáhlé zkušenosti. Příkladem může být Norsko, kde v roce 2017 tvořil prodej EV již 39 % všech prodaných aut. [79]

Nejpodstatnější a do prostředí České republiky s určitou přesností přenositelné jsou charakteristiky nabíjení. Podle [37] nabíjí 94 % majitelů BEV jejich vozidla doma. Z toho 60 % nabíjí denně a dalších 20 % 3x až 5x týdně.

Typický uživatel připojuje své BEV do domácí nabíječky ve chvíli, kdy přichází z práce. To způsobuje nárůst odběru okolo 16:00 až 18:00. Odběr nabíjením trvá přibližně do půlnoci. Nárůst odběru vlivem nabíjení nastává ve stejnou chvíli, kdy se přirozeně zvyšuje spotřeba domácností. [37][36]

V současné době je podle [37] většina norských domácností schopna využívat 2-3 kW nabíječky. Novější domy s 3 fázovým připojením a 63 A jističem bez problému zvládnou 7-11 kW nabíjení. V domácím prostředí je také možné využívat tzv. wallbox. Jedná se o nabíjecí stanici schopnou naprogramování průběhu nabíjení, případně odložení nabíjení na dobu nízkého tarifu.[37] V prostředí domácnosti je zpravidla velké časové okno pro nabíjení (zejména v noci). Nelze proto očekávat výraznější instalaci o mnoho výkonnějších nabíječek.

V simulacích v této práci není odložené nabíjení uvažováno. To je z důvodu rozsáhlé variability nastavení mimo rozsah této bakalářské práce.

Je důležité také uvažovat kolik lidí má vůbec podmínky pro nabíjení EV. Zejména na začátku rozvoje EM můžeme předpokládat nabíjení hlavně v garážích, kde je riziko poškození (nebo zneužití) nabíječky minimální. Podle mapových pokladů se v roce 2018 v obci Moravany nachází přibližně 775 garáží. To odpovídá 1 garáži na přibližně 4 lidi. Při uvažovaném nárůstu počtu obyvatel a zachování tohoto poměru můžeme v obci Moravany očekávat v roce 2035 přibližně 1305 garáží, což je pro nabíjení predikovaného počtu EV naprosto dostatečné.[43][70][42]

Dle [104] byl v roce 2015 v Evropské unii průměrný roční nájezd 12 009 km na vozidlo. U méně rozvinutých zemí, kam podle autora spadá také ČR, byl průměrný roční nájezd okolo 8000 km. Článek [9] z roku 2013 uvádí, že třetina českých řidičů ujede 10 až 20 tisíc km za rok. Další třetina 5 až 10 tisíc km za rok. V Norsku na 100 dní připadá 83 dní s výjezdem do 80 km.[37]

Na základě těchto podkladů byly vytvořeny simulace EV. Pro zohlednění různých typů elektromobilů, jejich využívání a charakteristik nabíjení byly stanoveny tři kategorie. Každá z nich se vyznačuje určitým typem vozidla, četností nabíjení, množstvím dobíjené energie a výkonem nabíječky.

Kategorie A uvažuje menší vozidlo, které se používá pouze na kratší vzdálenosti. Typicky se může jednat o výjezdy do blízkých nákupních center. Vozidlo disponuje relativně nízkou kapacitou 35 kWh. Každý den se dobíjí 90 % těchto EV. Nabíjená kapacita odpovídá 15 % celkové kapacity. Tato dobíjená energie odpovídá při průměrné spotřebě 170 Wh/km ujetí přibližně 30 km. Z důvodu dobíjení relativně malého množství energie se využívá nabíječka s výkonem 3,7 kW. Za těchto podmínek se vozidlo nabije přibližně za 1,5 hodiny. V případě dobíjení naprosto vybité baterie dojde k nabití za přibližně 9,5 hodin. Průměrný roční nájezd při tomto používání odpovídá přibližně 10 tisíc km za rok.

Kategorie B pracuje průměrným vozidlem, u kterého se očekává nejvýraznější rozšíření. Vozidlo je schopno zvládnout bez nabíjení velkou část výjezdů. Na základě Tab. 7-5 a Tab. 7-6 byla zvolena kapacita 65 kWh. Každý den je uvažováno dobíjení 45 % vozidel. Dobíjeno je 20 % kapacity. Dobíjená energie odpovídá přibližně 76 km dojezdu. Pro dobíjení se využívá nabíječka

s výkonem 7,4 kW. Uvažované dobíjení trvá přibližně 2 hodiny. Dobití vybitého vozidla zabere přibližně 9 hodin. Roční nájezd odpovídá přibližně 12,5 tisíci km.

V kategorii C se uvažuje vozidlo pro delší výjezdy. Předpokládaná kapacita vozidla je 100 kWh. Každý den je dobíjeno 40 % vozidel. Nabíjení odpovídá 35 % kapacity. Takovému dobití odpovídá přibližně 200 km dojezdu. Předpokládá se nabíječka s výkonem 11 kW. Simulované dobití zabere přibližně 3 hodiny. Dobití plné kapacity zabere přibližně 9 hodin. Roční nájezd odpovídá přibližně 30 tisíc km.

Tab. 7-7 Uvažované kategorie EV

Kategorie	Denně dobíjeno [%]	Kapacita [kWh]	Dobíjená kapacita [%]	Nabíječka [kW]	Doba nabíjení [h]
A	90	35	15	3,7	1
B	45	65	20	7,4	2
C	40	100	35	11	3

Pro hlavní část simulace bylo nutné nastavit zastoupení jednotlivých kategorií. Tato skladba (dále také mix) byla zvolena následovně:

Tab. 7-8 Uvažovaná skladba vozového parku (neboli mix) v obci Moravany v roce 2035

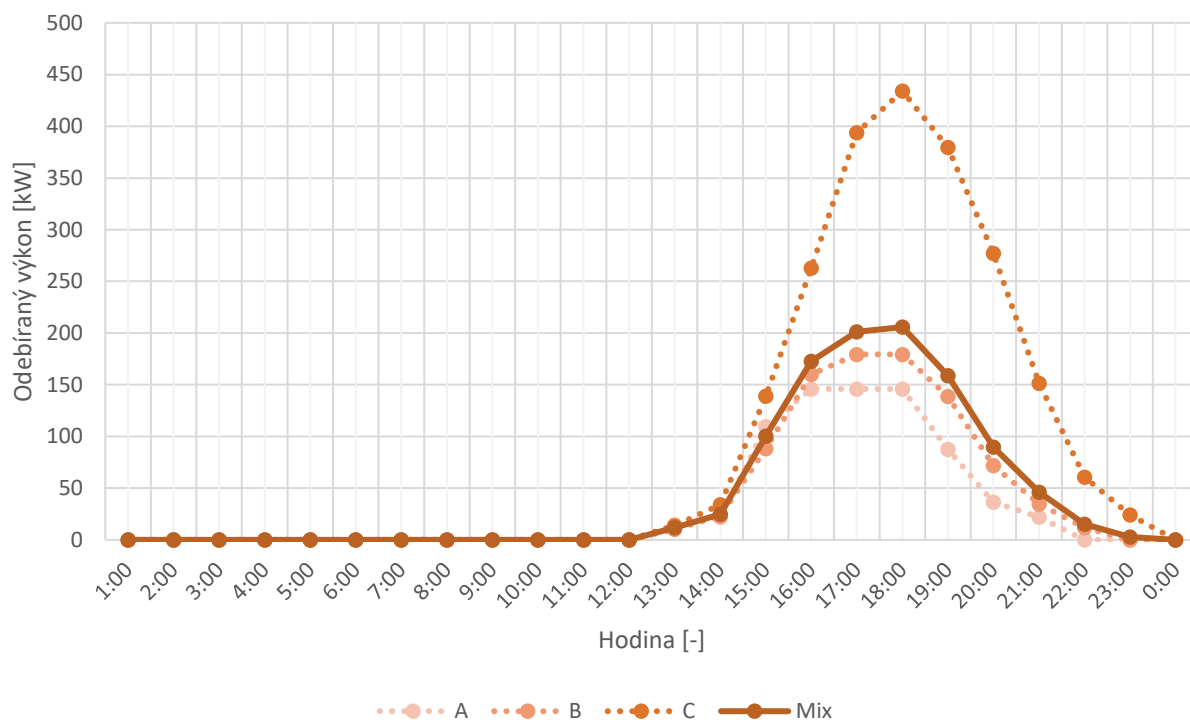
Kategorie	Popis	Zastoupení [%]
A	Malé EV	20
B	Střední EV	70
C	Dálkové EV	10

V simulaci se neuvažuje regulované nabíjení. Auto se začíná nabíjet ihned po připojení do sítě a nabíjí se do plné kapacity. Za tímto účelem byly vytvořeny tzv. koeficienty připojení. Ty říkají, jaký podíl z celkového počtu aut se v dané hodině připojí. Na základě informací z [36], zmiňovaných dříve v této kapitole, byly nastaveny koeficienty následovně:

Tab. 7-9 Koeficienty připojování EV do sítě

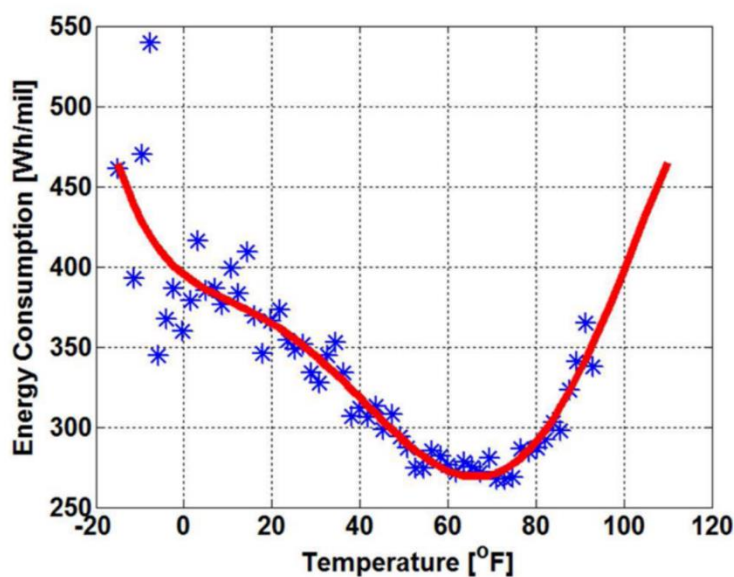
Hodina	Koeficient připojení
13	2 %
14	3 %
15	15 %
16	20 %
17	20 %
18	20 %
19	12 %
20	5 %
21	3 %
Celkem	100 %

Průběh odebíraného výkonu jednotlivých kategorií EV v obci Moravany v červenci 2035 je vidět na Obr. 7-15. Jednotlivé průběhy reprezentují 100 % zastoupení dané kategorie.



Obr. 7-15 Průběh odebíraného výkonu EV v obci Moravany – červenec 2035

Pro potřeby simulace byla zjišťována také závislost akumulační kapacity baterií BEV na teplotě. V rámci [129] byla tato závislost analyzována u BEV Nissan Leaf. Analyzovaná data pocházela z reálného provozu vozidla.



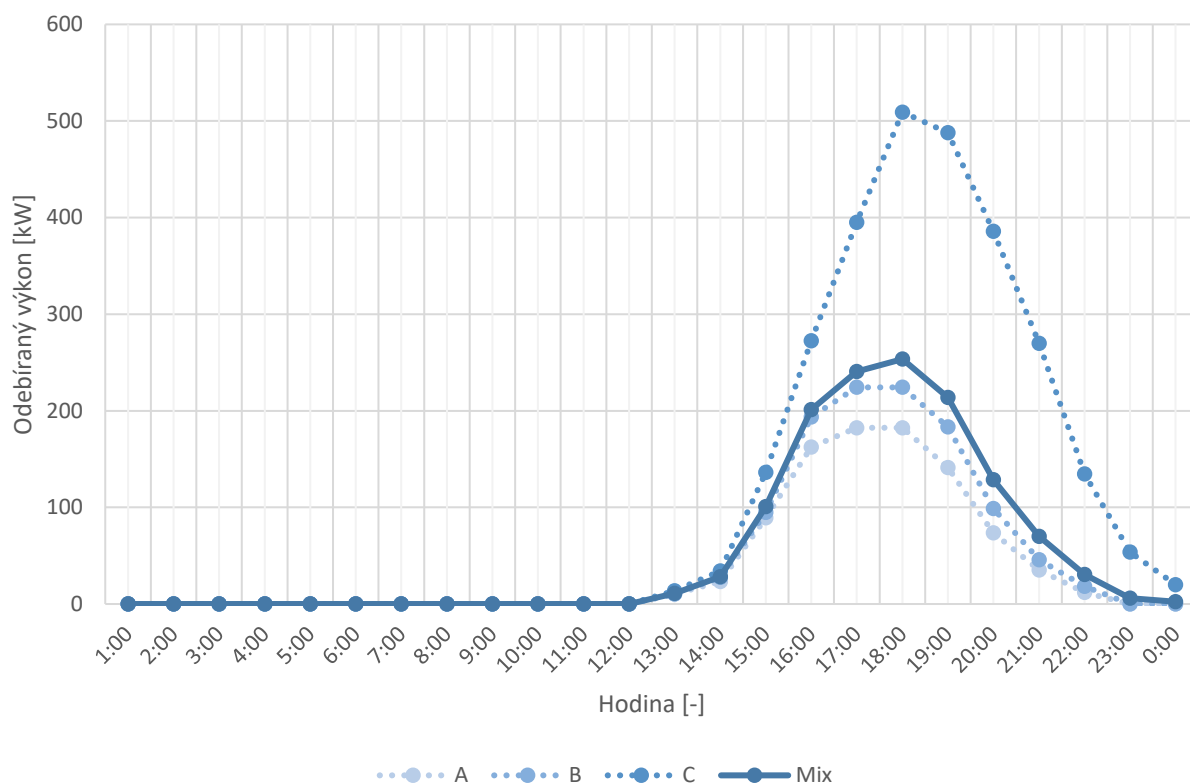
Obr. 7-16 Závislost spotřeby el. energie na teplotě okolí BEV Nissan Leaf. [129]

Podle dat Českého hydrometeorologického ústavu (dále také ČHMÚ) byla na území Jihomoravského kraje v letech 2010 až 2018 průměrná teplota v červenci 20,47 °C (68,84 F). V prosinci byla průměrná teplota 0,5 °C (32,9 F). [119]

V průběhu dle Obr. 7-16 odpovídá teplotě 68,84 F (20,47 °C) spotřeba přibližně 271 Wh/mil (168,39 Wh/km). Teplotě 32,9 F (0,5 °C) odpovídá spotřeba přibližně 338 Wh/mil (210,02 Wh/km).

Z těchto dat vyplývá, že v daných podmínkách Jihomoravského kraje odpovídá spotřeba BEV v prosinci 1,25násobku spotřeby v červenci.

To se na odběru nabíjení projevívá zvýšením odebíraného výkonu.

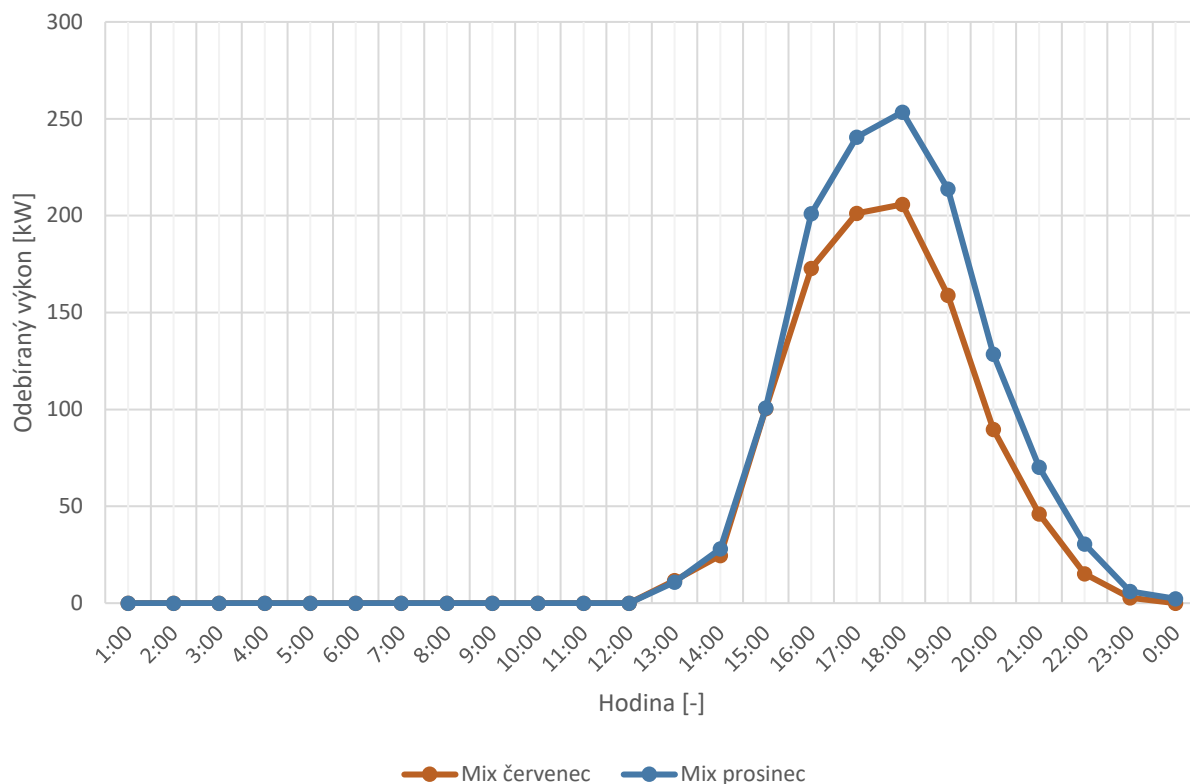


Obr. 7-17 Průběhy potřebných PHV EV v obci Moravany – prosinec 2035

Nárůst výkonu je způsobený více připojenými vozidly v dané hodině. Rozdíly mezi mixy v jednotlivých měsících popisuje Tab. 7-10 a Obr. 7-18.

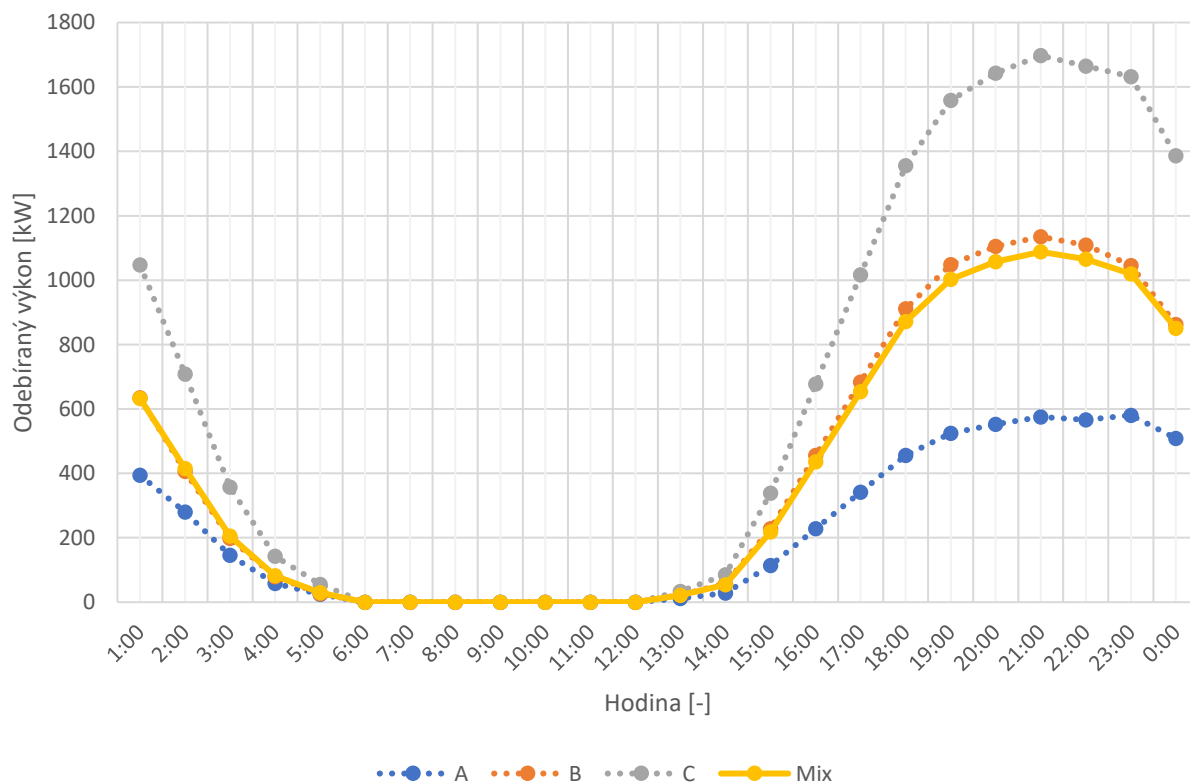
Tab. 7-10 Parametry odběru mixu EV – červenec, prosinec

Parametr	červenec	prosinec
Maximální průměrný hodinový odběr [kW]	205,8	253,49
Denní energie [kWh]	1029	1286,25



Obr. 7-18 Porovnání průběhů odběru v závislosti na měsíci

Nejnepříznivější situace neboli nabíjení plné kapacity všech 154 vozidel by vypadalo následovně.



Obr. 7-19 Průběh odebraného výkonu EV při nabíjení plné kapacity všech vozidel

7.4 Vyhodnocení potenciálu fotovoltaiky v obci Moravany

S očekávaným zvyšováním decentralizace výrobních zdrojů elektrické energie je nutné zahrnout do simulace také vliv obnovitelných zdrojů. Z hlediska obce se jedná zejména na o fotovoltaiku.

PV panely se v obci objevují již dnes. Z dostupných mapových podkladů bylo po konzultaci s p. M. Štefkem, který se ve své bakalářské práci fotovoltaikou v obci Moravany zabývá, bylo stanoveno, že se v obci Moravany nachází přibližně 30 instalací PV. V průměru jedna instalace obsahuje 15 panelů. Celkem je tedy uvažováno 450 panelů. Tento počet je i přes snahu o co nejpresnější stanovení orientační. Odchylna může být způsobena záměnou PV se systémy pro ohřev vody. [59][43][70][42]

Pro stanovení instalovaného výkonu těchto panelů je zvolen referenční panel. Jedná se o polykrystalický panel výrobce AUO v ČR distribuovaný společností SOLSOL. Panel má označení SunPrimo PM060PW I. Ve výpočtu je uvažován nominální výkon 270 Wp a plocha 1,63 m². Tento panel je zvolen z důvodu jeho průměrných parametrů, které můžeme u současných instalací očekávat. Společnost SOLSOL také v ČR spolupracuje s několika významnými společnostmi zajišťujícími instalace PV, díky čemuž můžeme jeho rozšíření předpokládat. [59][108][115]

Celkový současný instalovaný výkon za těchto podmínek odpovídá 121,5 kWp.

Energetický zisk PV do značné míry ovlivňuje směr natočení. Nejvyššího zisku dosahují instalace natočené směrem na jih, případně na jihovýchod či jihozápad. U natočení na další směry již energetický zisk tak výhodný není. [59]

Ve výpočtu se předpokládá, že současné instalaci byly navrženy pro co nejvýhodnější ekonomickou návratnost a že si je pořizovaly pouze domácnosti, které pro jejich využití mají vhodné podmínky. Uvažuje se tedy, že 90 % těchto panelů je natočeno jih (to odpovídá instalovanému výkonu 109,35 kWp). Další 5 % (6,075 kWp) na jihovýchod a 5 % (6,075 kWp) na jihozápad. [59]

Tab. 7-11 Uvažované natočení PV instalací v obci Moravany v roce 2018

Směr	Podíl [%]	Instalovaný výkon [kWp]
Jih (J)	90	109,35
Jihovýchod (JV)	5	6,075
Jihozápad (JZ)	5	6,075
Celkem	100	121,5

Pro výpočet energetického zisku byl zvolen interaktivní nástroj Společného výzkumného střediska Evropské komise v Itálii pojmenovaný Hourly radiation data (v překladu Hodinová radiační data). Ten po zadání polohy, typu instalace, náklonu a směru vygeneruje ve zvoleném historickém časovém rozsahu intenzitu dopadajícího solárního záření. Po zadání technologie panelů, instalovaného výkonu a systémových ztrát je možné vygenerovat také výkon. Z takto zadávaných parametrů vyplývá, že je nutné průběh vygenerovat pro každý směr samostatně. [83]

V případě generování dat pro PV v současných podmínkách byly pro všechny směry společné údaje zadány podle tabulky Tab. 7-12. Parametry jednotlivých směrů potom podle Tab. 7-11.

Tab. 7-12 Obecné nastavení nástroje Hourly radiation data pro rok 2018

Parametr	Nastavená hodnota
Poloha	
Lat	49.147222
Lon	16.576944
Databáze radiačního záření	PVGIS.CMSAF
Počáteční rok	2007
Koncový rok	2016
Typ montáže	Pevná
Náklon	35°
Technologie PV	Crystalline silicon
Systémové ztráty	14 %

Typ montáže byl vybrán pevný, neboť v simulacích nejsou uvažovány panely schopné změny natočení nebo sklonu. Sklon 35° byl stanoven po konzultaci jako sklon pro optimální energetický zisk. [59] Systémové ztráty neboli ztráty měniče, ztráty ve vodičích a podobně, byly přednastaveny na 14 % autory nástroje jako obvyklé přibližné ztráty. Také databáze radiačního záření byly vybrána dle doporučení autorů. [83]

Průběhy generované nástrojem odpovídají koordinovanému světovému času (dále také UTC). Data pro jednotlivé měsíce jsou proto upravena, aby odpovídala času v obci Moravany. Pro červenec jsou posunuta na čas UTC+2 (z důvodu letního času). Data pro prosinec jsou převedena na čas UTC+1.

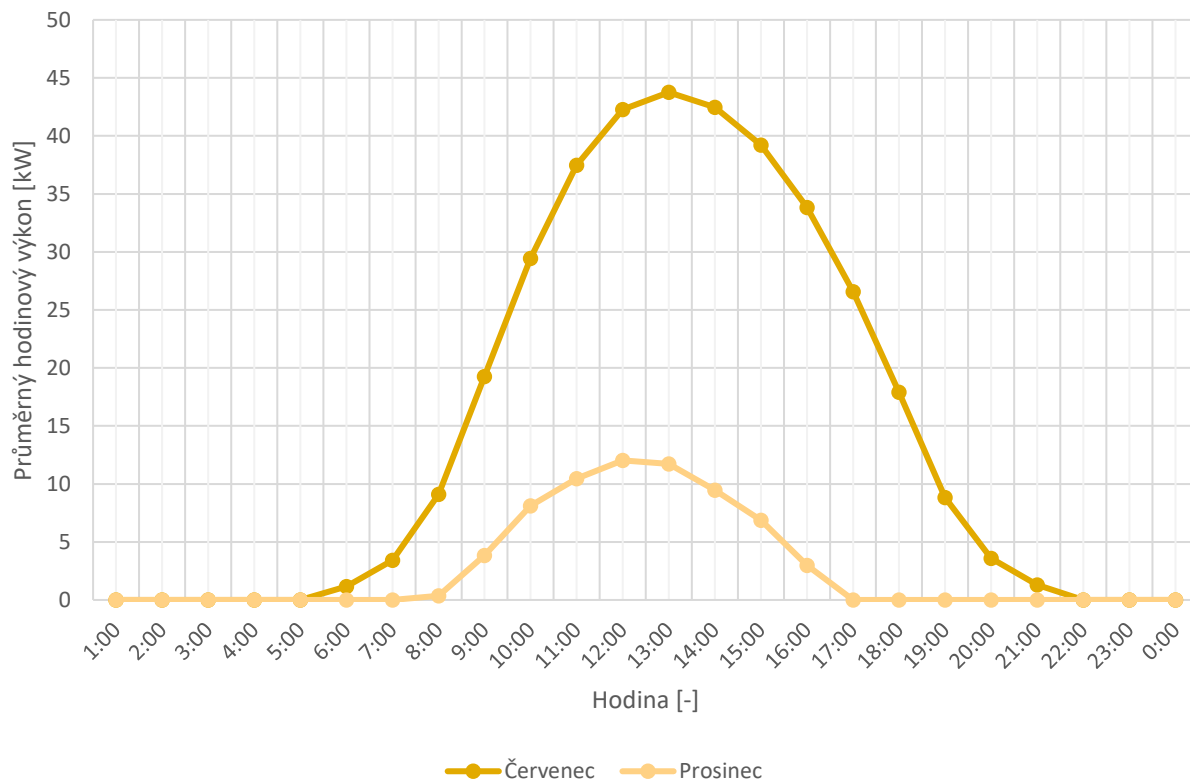
Pro sjednocení výsledků s M. Štefkem, který se fotovoltaikou v obci Moravany zabývá (avšak nezaměřuje se primárně na denní průběhy), byla provedena série testů pro stanovení rozdílů mezi denními zisky generovanými nástrojem [83] a metodou vycházející z upravené normy 15316-4-3 Energetická náročnost budov – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy. Na základě těchto testů byly stanoveny korekční činitele pro jednotlivé směry. [112][59]

Tab. 7-13 Korekční činitele pro výsledky nástroje Hourly radiation data [83]

Směr	Korekce směru
Jih (J)	0,688682745
Jihovýchod (JV)	0,680912619
Jihozápad (JZ)	0,701814782
Sever (S)	0,780012203
Severovýchod (SV)	0,772379587
Severozápad (SZ)	0,740966873
Východ (V)	0,708012369
Západ (Z)	0,794452857
Průměr	0,733404254

Tyto korekční činitele byly zapracovány do hodinových dat. Ve výsledku je tedy korekce zapracována rovnoměrně do celého dne. Výsledky po korekci odpovídají přibližně 73 % nástrojem generovaných výsledků.

Rozdílné výsledky generované nástrojem Hourly radiation data a metody vycházející z normy ČSN EN 15316-4-3 (ze které vycházel M. Štefka) jsou z části způsobeny normou daným plošným snížením energetického zisku o 20 %. Odchylku také způsobuje mírné podhodnocení výroby v práci M. Štefka[112]. [59]



Obr. 7-20 Denní průběh výkonu PV v obci Moravany v roce 2018

Zobrazené průběhy vychází z denních průběhu výkonu PV daných měsíců mezi roky 2007 a 2016. Ve výsledku je tedy průběh pro každý měsíc průměrný průběh z 310 denních průběhů. Výsledný výkon odpovídá instalovanému výkonu a korekci dle Tab. 7-13. Maximum v červenci nastává okolo 13:00. V prosinci potom okolo 12:00. Maximální hodnoty popisuje tabulka Tab. 7-14.

Tab. 7-14 Parametry PV v obci Moravany v roce 2018

Parametr	Červenec	Prosinec
Maximální průměrný hodinový výkon [kW]	43,75	12,03
Denní energetický zisk [kWh]	359,63	65,82

Prognóza stavu PV v roce 2035 vychází z dat ERÚ (Energetický regulační úřad) a z oponentního posudku k vybraným tématům z návrhu Národního Klimaticko-Energetického Plánu (Dále také NKEP) pro oblast FVE.

Podle Čtvrtletní zprávy o provozu ES ČR (elektrizační soustavy České republiky) z IV. Čtvrtletí 2018 byl v prosinci 2018 celkový instalovaný výkon FVE 2048,9 MW. Z toho 91 MW zastávali zdroje s výkonem do 10 kW. [15]

V dokumentu Oponentní posudek k vybraným tématům z návrhu Národního Klimaticko-Energetického plánu (NKEP) pro oblast FVE vypracovaného společností EGÚ Brno lze najít prognózu ekonomického potenciálu instalovaného výkonu FVE. V dokumentu je ekonomický potenciál popsán následovně:

Jako ekonomický potenciál je považován takový vývoj instalovaného výkonu FVE, jehož integrace je technicky realizovatelná z hlediska provozu elektrizační soustavy ČR a nezpůsobuje výrazně vyšší náklady na opatření k zajištění bezpečného provozu ES ČR (např. značné zastoupení akumulace, vč. sezónní) – viz případová studie Koncepční v Očekávané dlouhodobé rovnováze mezi nabídkou a poptávkou elektřiny a plynu pro společnost OTE a.s. [8]

Případová studie koncepční je v [132] popsána následovně:

Cílem je navrhnout taková opatření, aby byla naplněna Státní energetická koncepce. Případová studie Koncepční (značena K) vychází z koridorů vytyčených v SEK a konkretizuje rozvoj ES ČR dle jejího Optimalizovaného scénáře a dle názorů představitelů české decizní sféry (především MPO) z roku 2017. [132]

Ekonomický potenciál instalovaného výkonu PV dle EGÚ Brno dosahuje v roce 2035 přibližně 4100 MW. Z toho zabírají instalace od 800 W do 11 kW přibližně 1710 MW. To odpovídá 174 700 instalacím. Z analyzovaného grafu je také vidět, že instalovaný výkon všech kategorií PV dosahoval v roce 2017 přibližně 2070 MW. V roce 2035 má z těchto instalací fungovat pouze 1630 MW instalovaného výkonu. [8]

Podle těchto dat má tedy v roce 2035 fungovat pouze 78,74 % PV z roku 2017. Při zanedbání rozdílu jednoho roku a uvažování tohoto poklesu od 2018 a zároveň za předpokladu rovnoměrného poklesu ve všech kategoriích můžeme říci, že z libovolné kategorie PV bude v roce 2035 v provozu 78,74 % současného instalovaného výkonu. Při zanedbání rozdílů mezi kategoriemi stanovenými v dokumentu ERÚ (do 10 kW) a dokumentu EGÚ (800 W až 11 kW včetně) a započtení stále fungujících PV můžeme stanovit, že instalovaný výkon PV do 10 kW (11 kW) v roce 2035 odpovídá 19,58násobku výkonu v roce 2018. To v případě obce Moravany, za předpokladu rozvoje podle kategorie do 10 kW (11 kW) odpovídá instalovanému výkonu 2379 kWp.

Tab. 7-15 Vývoj instalovaného výkonu PV v obci Moravany

Rok	Instalovaný výkon PV [kWp]
2018	121,5
2035	2379

Při návrhu rozložení směrů instalací je nutné zohlednit technický potenciál obce. Ten závisí na typu a rozsahu zástavby. Jeho výpočtem pro rok 2018 se ve své bakalářské práci zabýval p. M. Štefek. Výsledky jeho výpočtu shrnuje následující tabulka. [112]

Tab. 7-16 Technický potenciál instalace PV v obci Moravany v roce 2018 [112] [59]

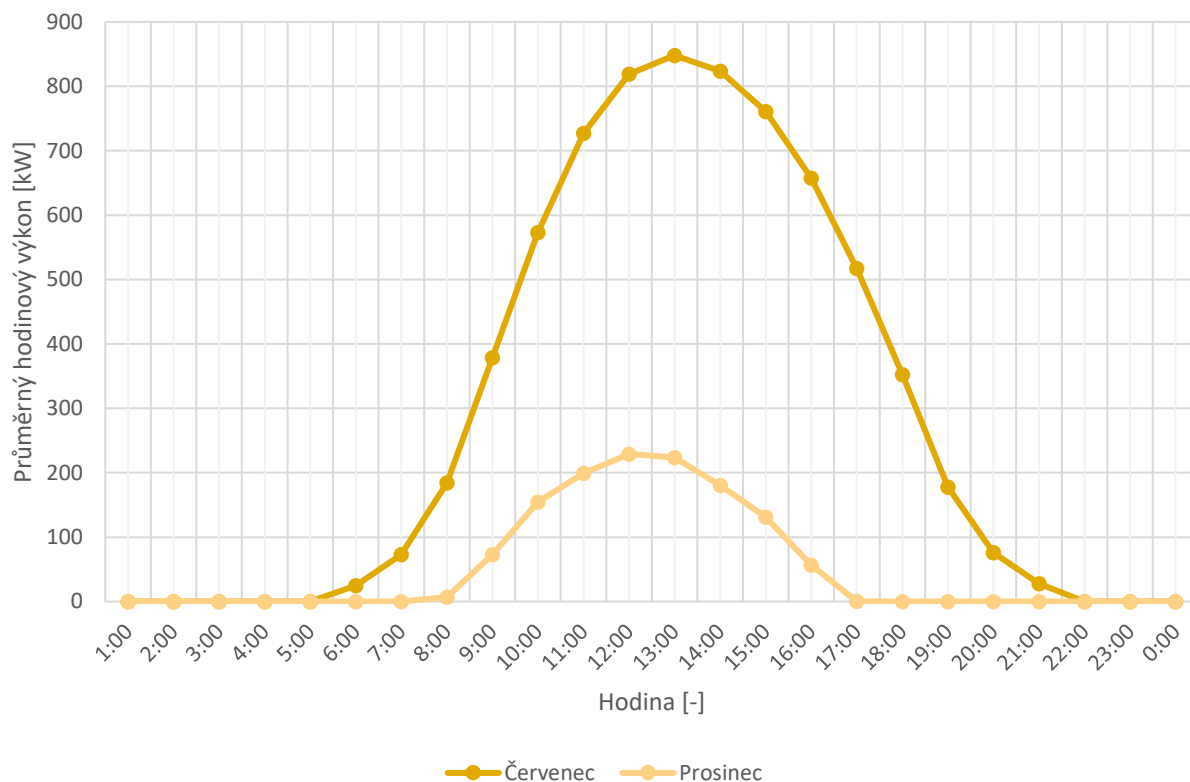
Směr	Technický potenciál PV [kWp]
J	12646
JV	515
JZ	254
S	3101
SV	297
SZ	493
V	2307
Z	2247
Celkem	21860

Za předpokladu vývoje obce podle kapitoly 7.2 můžeme očekávat výrazný nárůst tohoto potenciálu. Z toho je zřejmé, že v roce 2035 bude využito jen velmi málo technického potenciálu obce. Nadále tak můžeme předpokládat většinu instalací orientovaných na jižní strany, kde jsou instalace ekonomicky nejvýhodnější. V simulaci pro rok 2035 je uvažováno následující rozložení natočení instalací PV.

Tab. 7-17 Uvažované natočení PV instalací v obci Moravany v roce 2035

Směr	Podíl [%]	Instalovaný výkon [kWp]
J	85	2022,150
JV	5	118,950
JZ	5	118,950
S	1	23,790
SV	1	23,790
SZ	1	23,790
V	1	23,790
Z	1	23,790
Celkem	100	2379

Výpočet energetického zisku je, stejně jako v případě roku 2018, prováděn pomocí nástroje Hourly radiation data. Obecné vstupní parametry jsou shodné s parametry z výpočtu pro rok 2018, které shrnuje Tab. 7-12. Nastavení jednotlivých směrů vychází z Tab. 7-17. Do výsledků jsou opět promítnuty korekce dle Tab. 7-13. Stejně tak jsou vygenerovaná data posunuta z času UTC na čas v daných měsících.



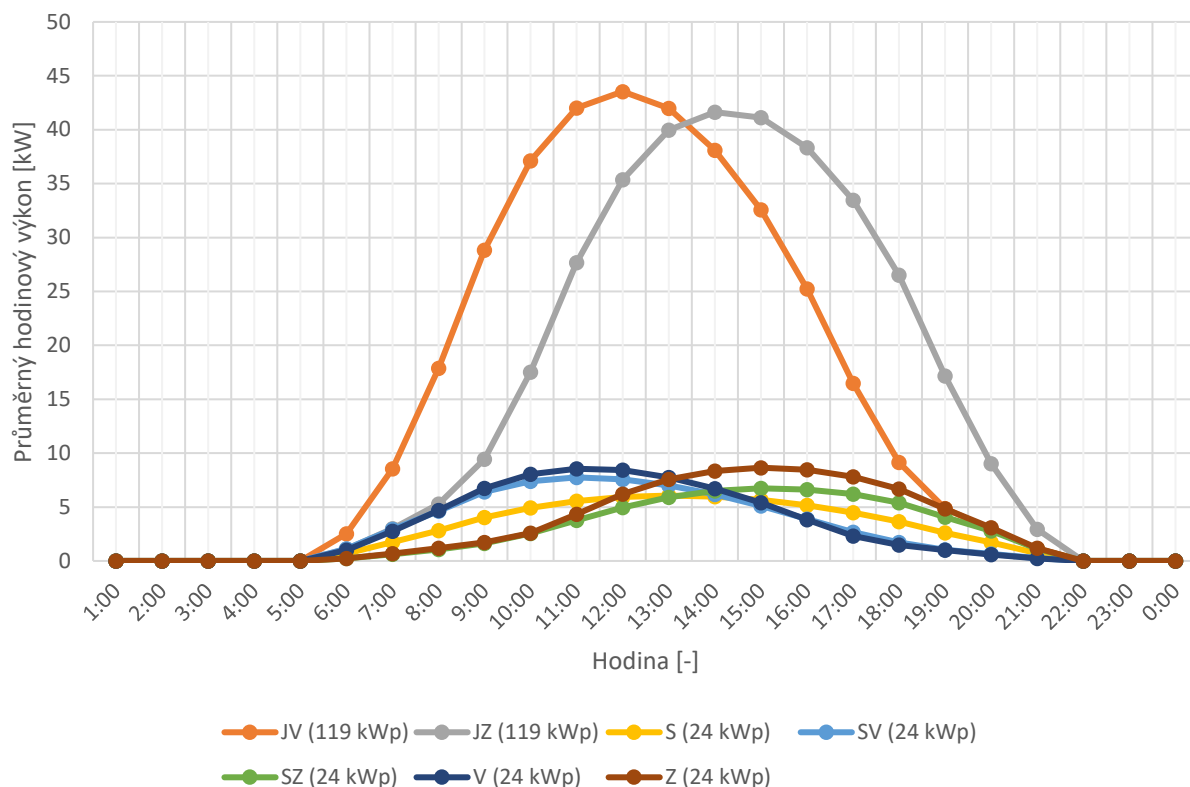
Obr. 7-21 Denní průběh výkonu v obci Moravany v roce 2035

Průběhy vychází z denních průběhů výkonů PV daných měsíců mezi roky 2007 a 2016 a jedná se tedy o průměrné průběhy z 310 denních průběhů. Výsledný výkon odpovídá instalovanému výkonu. Maximální průměrný hodinový výkon v červenci opět nastává okolo 13:00. V prosinci stejně jako v simulaci roku 2018 ve 12:00. Vyšší hodnoty výkonu oproti roku 2018 jsou způsobeny nárůstem instalovaného výkonu PV.

Tab. 7-18 Parametry PV v obci Moravany v roce 2035

Parametr	Červenec	Prosinec
Maximální průměrný hodinový výkon [kW]	847,99	229,20
Denní energetický zisk [kWh]	7020,78	1254,50

Zajímavý je také podíl jednotlivých směrů natočení na celkovém průběhu. Je zde zřejmá závislost času maximálního výkonu na směru natočení. Vyšší výkon jižních směrů (JV, JZ) je způsoben hlavně vyšším instalovaným výkonem. Při instalovaném výkonu totožném s ostatními směry by vyšší výkon nebyl tak výrazný. Průběh výkonu na jih natočených instalací není zobrazen z důvodu výrazně vyššího výkonu oproti ostatním směrům.



Obr. 7-22 Denní průběh výkonu PV v obci Moravany v červenci 2035 vybraných směrů

7.5 Simulace vlivu prostředí na kapacitu BESS

Na základě v předchozích kapitolách uvedených predikcí byly sestaveny různé varianty simulací závisející na samotném odběru obce, rozšíření elektromobility a rozšíření fotovoltaiky.

Tab. 7-19 Varianty simulací

Simulace	Spotřeba domácností	Fotovoltaika	Elektromobilita
V0	2018	2018	-
V0a	2018	-	-
V1	2035	-	-
V1a	2035	2035	-
V1b	2035	2035	2035
V2	2018	Technický potenciál	OA = EV

Pro zahrnutí rozdílných podmínek v průběhu roku se každá varianta simulace skládá ze dvou průběhů. První průběh je pro průměrný pracovní červencový den. V tomto dni se předpokládá nejvyšší energetický zisk PV. Druhý průběh je pro průměrný pracovní den v prosinci. Zde se naopak předpokládá nejnižší energetický zisk PV. Zároveň se zde projeví zvýšená spotřeba obce a vyšší nároky na dobíjení EV. Měsíce byly vybrány tak, aby simulace popisovaly v průměru nejprůběhovější a nejneprůběhovější situaci v průběhu roku. V ostatních měsících by měly být průměrné průběhy jednotlivých částí někde mezi průběhy uváděnými v této práci.

7.5.1 V0

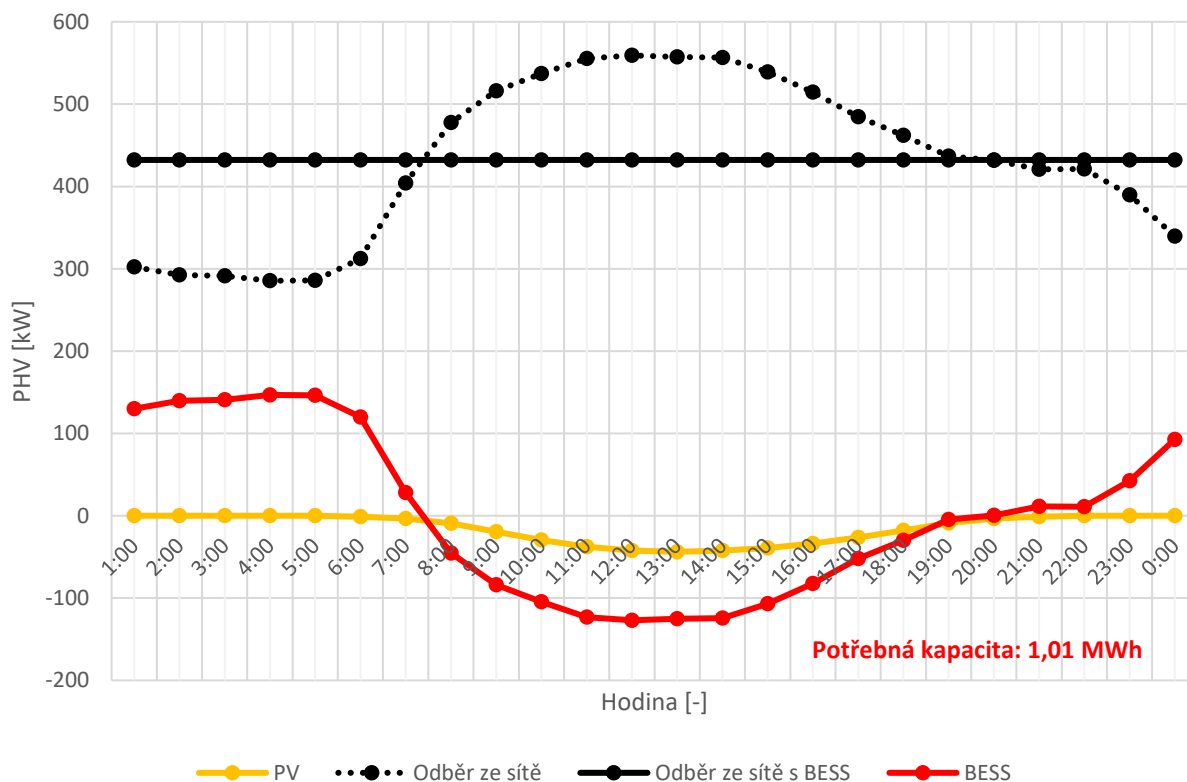
Varianta simulace skutečného stavu obce Moravany v roce 2018. Je uvažována spotřeba obce a výroba fotovoltaiky.

Průběh vychází pouze z dat společností E.ON zpracovaných v [100]. Tyto data (za předpokladu lokální spotřeby výroby místních PV) nezahrnují energii vyrobenou pomocí PV. Jedná se tedy o spotřebu obce poníženou o výrobu místních PV neboli o odběr ze sítě.

Tab. 7-20 Parametry simulace V0

Simulace	Spotřeba domácností	Fotovoltaika	Elektromobilita
V0	2018	2018	-

Simulace července je vidět na Obr. 7-23.

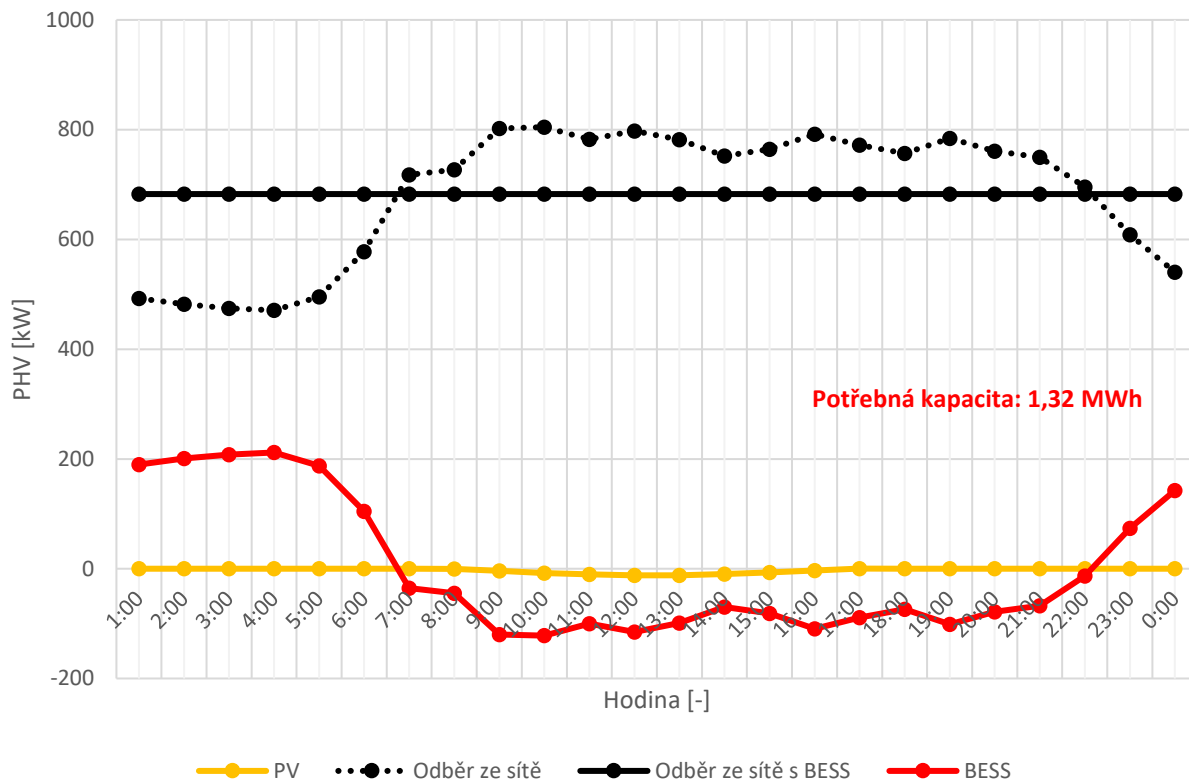


Obr. 7-23 Simulace V0 – červenec 2018

V simulaci je výsledný denní neregulovaný odběr obce ze sítě 10,37 MWh. Maximální odebíraný PHV nastává ve 12:00 a odpovídá přibližně 559 kW. Pro dosažení vyrovnaného odběru by obec musela odebírat v průměru 432 kW. Pro dosažení tohoto odběru by bylo nutné přesunout energii 1,01 MWh neboli 9,74 % celkového odběru.

Baterie pro zajištění průměrného odběru (absolutního vyrovnání špiček) se nabíjí zejména v noci. Průměrný odebíraný PHV v brzkých ranních hodinách odpovídá přibližně 135 kW. Odebíraný PHV baterie se od 5:00 snižuje a okolo 8:00 baterie přechází do režimu vybíjení ve kterém pokrývá zvýšený odebíraný PHV obce. Okolo 12:00 dodává maximální PHV 127 kW. Přibližně v 19:00 baterie přechází do režimu nabíjení.

Režim vybíjení trvá přibližně 12 hodin.



Obr. 7-24 Simulace V0 – prosinec 2018

V prosinci 2018 je výsledný denní neregulovaný odběr obce ze sítě přibližně 16,38 MWh. Nejvyšší odebíraný PHV se objevuje okolo 9 hodiny a trvá přibližně do 20:00. V tomto období se odebíraný PHV pohybuje přibližně od 752 do 804 kW. Průměrný odebíraný PHV odpovídá 683 kW. Pro jeho zajištění je nutné přesunout energii 1,32 MWh. To odpovídá 8,1 % celkového odběru.

Baterie má v časných ranních hodinách nabíjecí PHV přibližně 200 kW. Okolo 7:00 přechází baterie do vybíjecího režimu. V něm zůstává přibližně do 22:00. Dodávaný PHV v tomto období odpovídá v průměru 82 kW a pohybuje se od 13 do 121 kW. Maximální dodávaný PHV nastává v 10:00.

V režimu vybíjení je baterie přibližně 16 hodin.

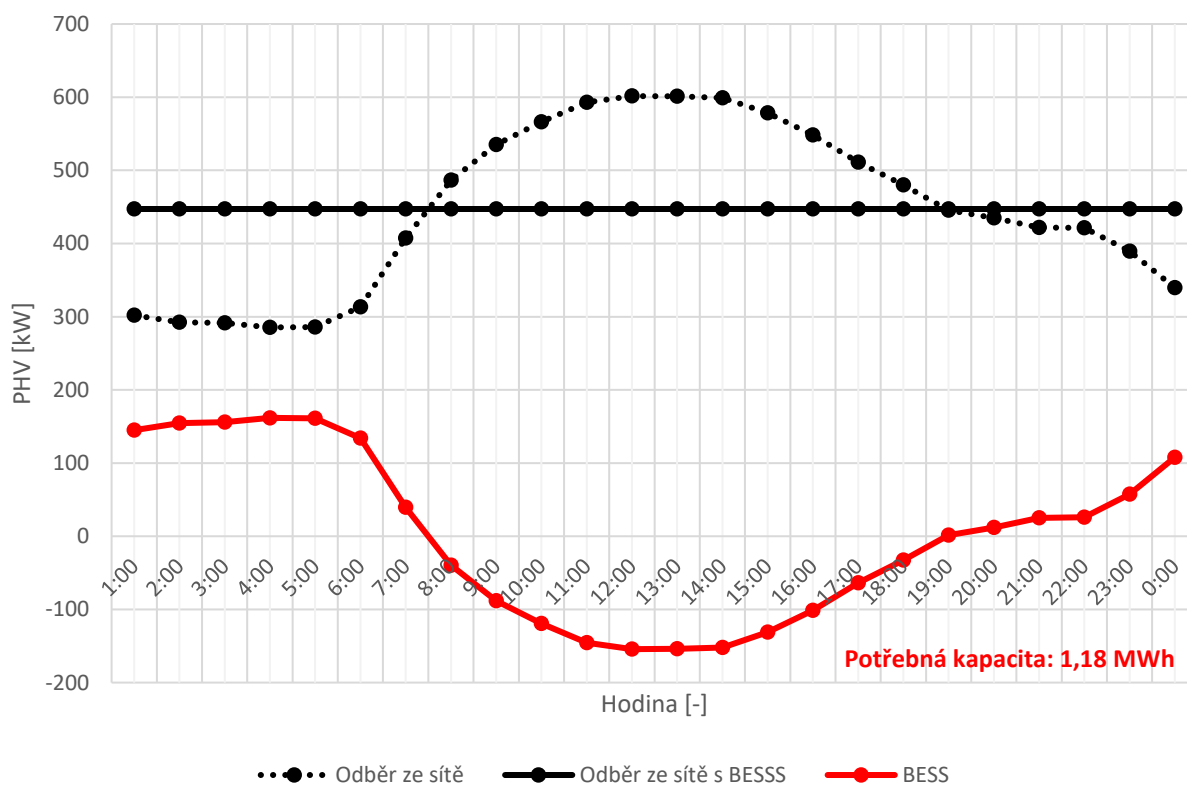
7.5.2 V0a

Varianta simuluje stav v obci v roce 2018 při zanedbání vlivu PV.

Data společnosti E.ON popisují energii odebranou ze sítě. Při stanovení reálné spotřeby obce je nutné k těmto datům přičíst zisk z lokálních PV. Ten je popsán v kapitole 7.4.

Tab. 7-21 Parametry simulace V0a

Simulace	Spotřeba domácností	Fotovoltaika	Elektromobilita
V0a	2018	-	-

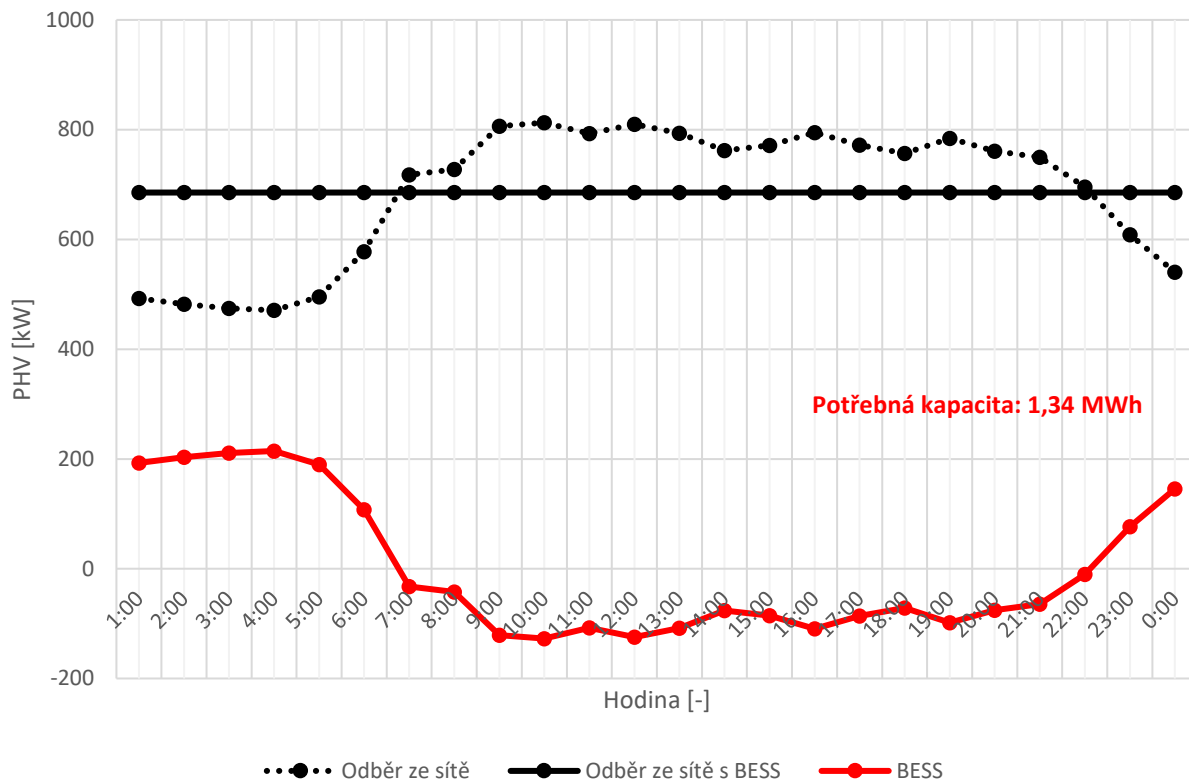


Obr. 7-25 Simulace V0a – červenec 2018

V červenci 2018 je v obci, při zanedbání vlivu PV, denní neregulovaný odběr ze sítě 10,73 MWh. Maximální odebíraný PHV nastává ve 12:00 a odpovídá 601 kW. Průměrný odebíraný PHV se pohybuje okolo 447 kW. Pro dosažení tohoto výkonu je nutné přesunout 1,18 MWh. To odpovídá 10,9 % celkového odběru.

Baterie se nabíjí zejména v noci. V časných ranních hodinách odpovídá průměrný nabíjecí PHV přibližně 150 kW. Baterie se začíná vybíjet okolo 8:00. Opětovné nabíjení začíná okolo 19:00. V průběhu dne nastává maximální vybíjecí PHV okolo 12:00 a dosahuje 154 kW.

Vybíjení v tomto dni trvá přibližně 11 hodin.



Obr. 7-26 Simulace V0a – prosinec 2018

Bez započítání vlivu PV je denní neregulovaný odběr ze sítě obce Moravany v prosinci 2018 přibližně 16,45 MWh. Maximální odebíraný PHV odpovídá 812 kW a nastává okolo 10:00. Průměrný odebíraný PHV odpovídá 685 kW. Pro dosažení tohoto výkonu je nutné přesunout 1,34 MWh neboli 8,15 % celkového odběru.

Baterie se, stejně jako v předchozích simulacích, nabíjí zejména v noci. V brzkých ranních hodinách odpovídá průměrný nabíjecí PHV přibližně 202 kW. Baterie začíná dodávat výkon do obce okolo 7:00. Maximální vybíjecí PHV odpovídá 127 kW a nastává okolo 10:00. BESS se opět začíná dobíjet okolo 22:00.

Vybíjení trvá přibližně 16 hodin.

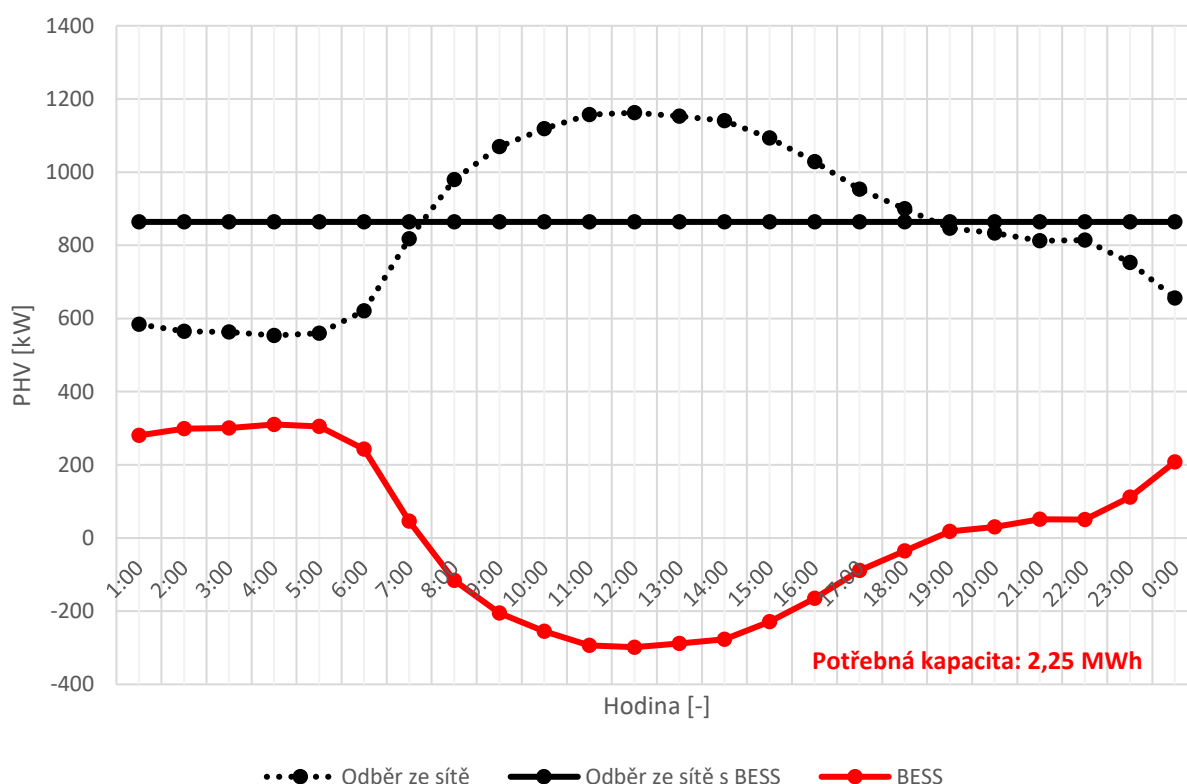
7.5.3 V1

Simulace vychází z predikce spotřeby obce pro rok 2035. Vliv EM a PV není uvažován.

Průběhy vychází z průměrného průběhu spotřeby obce Moravany pracovních dní července a prosince 2018. Ty jsou následně navýšeny o predikované zvýšení spotřeby. Podle kapitoly 7.2 bude roční spotřeba v roce 2035 8902 MWh, což je oproti roku 2018 nárůst o 93,2 %.

Tab. 7-22 Parametry simulace V1

Simulace	Spotřeba domácností	Fotovoltaika	Elektromobilita
V1	2035	-	-

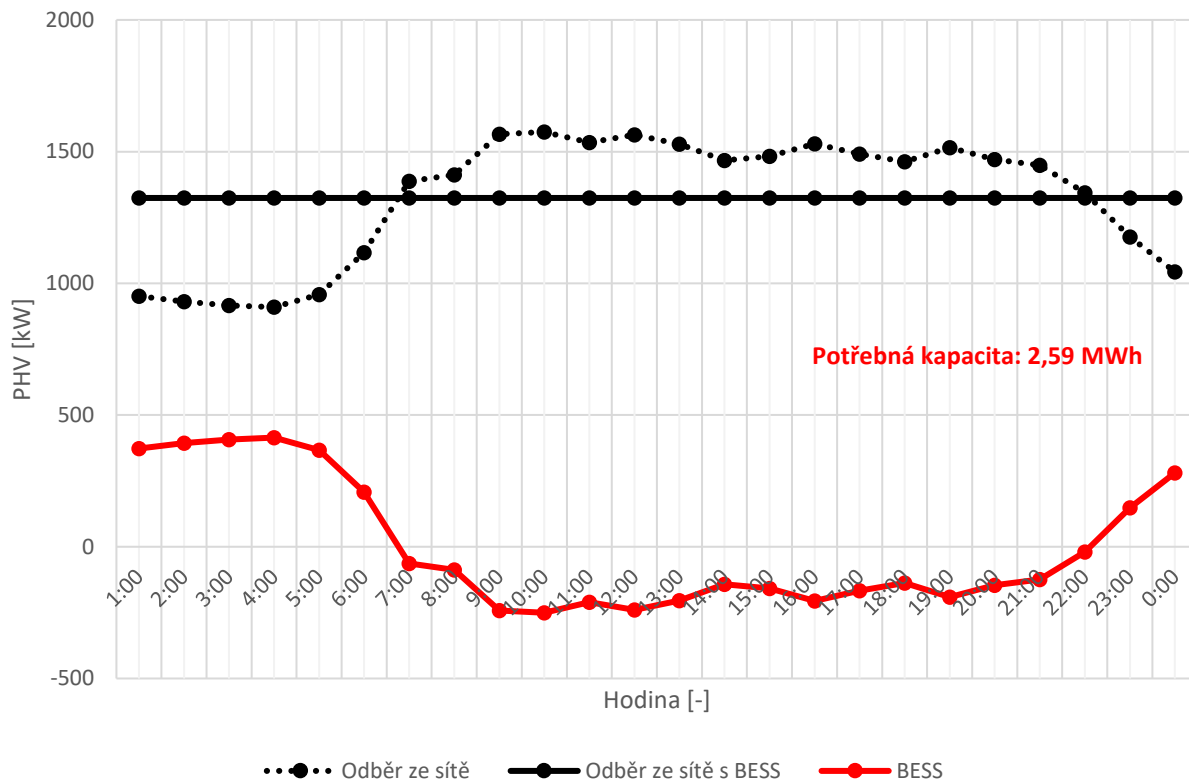


Obr. 7-27 Simulace V1 – červenec 2035

V červenci 2035 je předpokládána denní neregulovaná spotřeba (v tomto případě také odběr ze sítě) obce 20,73 MWh. Maximální odebíraný PHV nastává okolo 12:00 a dosahuje hodnoty 1162 kW. Průměrný odebíraný PHV je roven 864 kW. Pro jeho dosažení je nutné přesunutí 2,25 MWh neboli 10,85 % celkového odběru.

V brzkých ranních hodinách je průměrný nabíjecí PHV BESS 290 kW. Baterie se začíná vybíjet okolo 8:00. Opět nabíjet se začíná okolo 19:00. Maximální vybíjecí PHV v průběhu dne nastává okolo 12:00 a odpovídá 298 kW.

Vybíjení trvá přibližně 11 hodin.



Obr. 7-28 Simulace V1 – prosinec 2035

V prosinci 2035 je v obci Moravany bez vlivu EM a PV denní neregulovaná spotřeba (odběr ze sítě) 31,78 MWh. Maximální odebíraný PHV je přibližně 1574 kW a nastává okolo 10:00. Průměrný odebíraný PHV je přibližně 1324 kW. Pro dosažení tohoto výkonu je nutné přesunout 2,59 MWh. To odpovídá 8,15 % celkového odběru.

V časných ranních hodinách je průměrný nabíjecí PHV BESS přibližně 391 kW. Baterie se začíná vybíjet okolo 7:00. Maximální vybíjecí PHV odpovídá 250 kW a nastává okolo 10:00. K opětovnému nabíjení baterie dochází okolo 22:00.

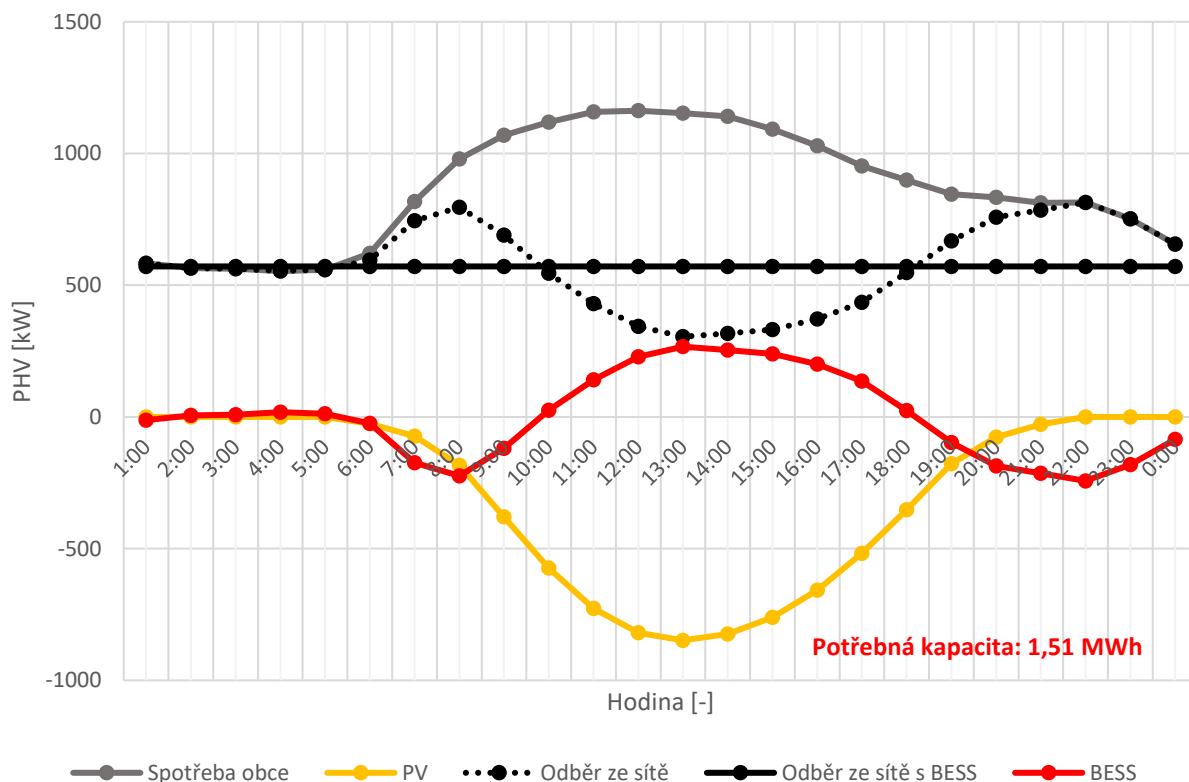
Vybíjení trvá přibližně 16 hodin.

7.5.4 V1a

Simulace založená na spotřebě obce predikované v roce 2035 s vlivem PV podle predikce 7.4.

Tab. 7-23 Parametry simulace V1a

Simulace	Spotřeba domácností	Fotovoltaika	Elektromobilita
V1a	2035	2035	-



Obr. 7-29 Simulace V1a – červenec 2035

V simulaci se na straně spotřeby uvažuje pouze spotřeba obce. Ta odpovídá energii 20,73 MWh. Její průběh je popsán v simulaci 7.5.3.

Navíc se zde uvažuje vliv PV s celkovým instalovaným výkonem 2379 kWp s natočením dle Tab. 7-17. Výkon PV nastupuje okolo 6:00 a postupně se zvyšuje. Maximální PHV se objevuje okolo 13:00 a odpovídá výkonu 848 kW. Následně výkon PV klesá a přibližně od 21:00 je roven nule. Denní energetický zisk PV se pohybuje okolo 7,02 MWh.

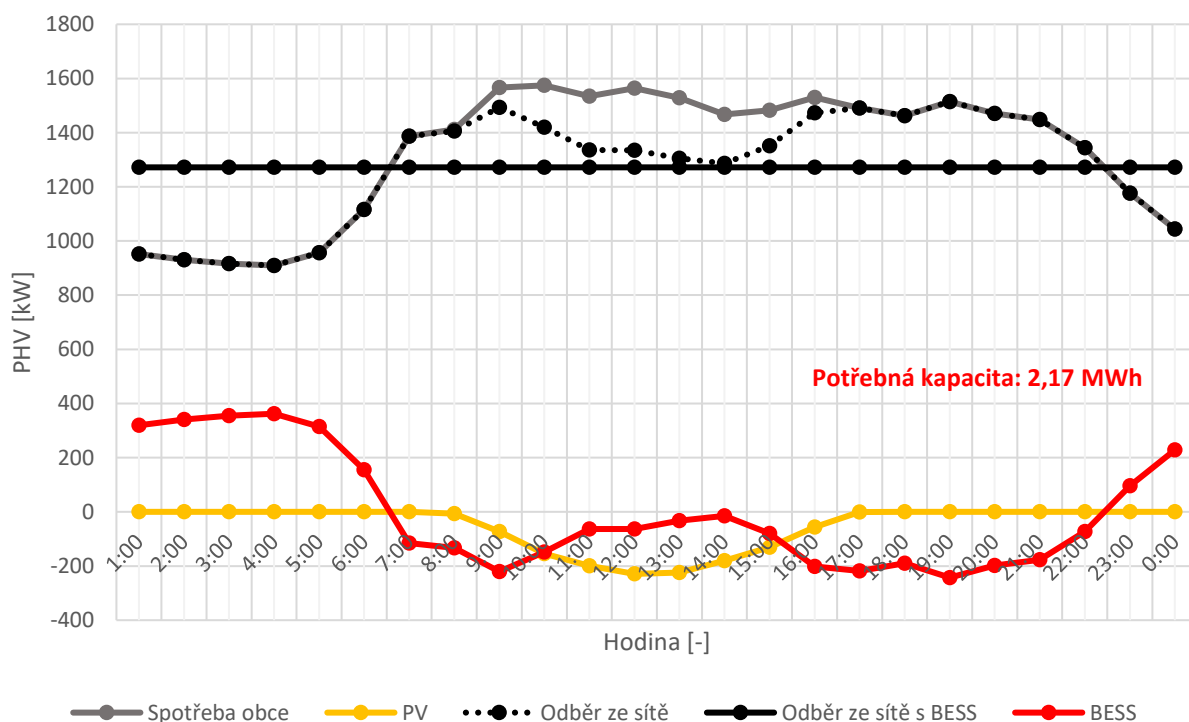
Výroba PV se výrazným způsobem projeví na neregulovaném výsledném odběru ze sítě. V časných ranních hodinách odpovídá průměrný odebíraný PHV hodnotě 570 kW. Okolo 6:00 dochází ke zvyšování odebíraného PHV vlivem nárůstu spotřeby obce. Růst odebíraného PHV se zastaví okolo 8:00 na 795 kW a vlivem nárůstu výkonu PV se začne odebíraný PHV snižovat. Snižování trvá až do 13:00 kdy odebíraný PHV odpovídá 304 kW. Od této hodiny výkon PV klesá následkem čehož dochází ke zvyšování odebíraného PHV ze sítě. V daném dni druhý nárůst se zastavuje kolem 22:00 na nejvyšším PHV daného dne 814 kW a dále klesá.

Ve výsledku je nutné z celkové spotřeby 20,73 MWh dodat ze sítě 13,71 MWh. Průměrný odebíraný PHV odpovídá 571 kW. Pro jeho dosažení je nutné přesunout 1,56 MWh neboli

11,38 % celkového odběru (7,53 % celkové spotřeby). Z důvodu čtenějšího přepínání režimů neodpovídá přesunutá energie potřebné kapacitě BESS. Po akumulaci denní výroby PV dochází k večernímu vybíjení a následnému mírnému dobíjení v ranních hodinách. Z tohoto důvodu vystačí pro denní vyrovnání kapacita 1,52 MWh.

Z důvodu velmi podobného odebíraného PHV v časných ranních hodinách s denním průměrem se výkon BESS v těchto hodinách pohybuje na průměrném výkonu 10 kW. Okolo 6:00 přechází BESS do režimu vybíjení pro pokrytí zvyšujícího se odebíraného PHV před nástupem PV. Okolo 10:00 je výkon PV dostatečný pro začátek nabíjení BESS. Jeho maximum nastává okolo 13:00 kdy nabíjecí PHV odpovídá 267 kW. Nabíjení trvá přibližně do 19:00. Od této hodiny nahrazuje BESS snižující se výkon PV a přechází do vybíjecího režimu. Okolo 22:00 dodává nejvyšší PHV celého dne 242 kW a následně klesá.

V simulaci je zajímavé čtenější přepínání režimů BESS. Zatímco v předchozích simulacích přecházelo BESS do režimu vybíjení v ranních hodinách a nabíjet se začínalo až okolo večera, v této simulaci se první, přibližně 4 hodinové, vybíjení objevuje ráno před nástupem PV. Druhé vybíjení, trvající přibližně 7 hodin, začíná až okolo 18:00. Přibližně 97,13 % kapacity BESS se dobije v období výrazného výkonu PV. Pouze zbylých 2,87 % kapacity se dobije v brzkých ranních hodinách.



Obr. 7-30 Simulace V1a – prosinec 2035

V prosinci se průběhy mění. Projevuje se zvýšená spotřeba obce, která dosahuje 31,78 MWh. Ta je popsána v kapitole 7.5.3. Je zřejmá také nižší produkce PV. Její výkon se objevuje až okolo 8:00. Maximum odpovídající výkonu 229 kW nastává v 12:00. Následně výkon klesá a okolo 17:00 je roven nule. Denní energetický zisk PV je roven 1,25 MWh.

Neregulovaný výsledný odběr ze sítě je podobný průběhu v simulaci bez uvažování vlivu PV v kapitole 7.5.3. Rozdíl se objevuje až okolo 9:00, kdy se odebíraný PHV snižuje. Snižování trvá přibližně do 14:00 kdy odebíraný PHV odpovídá 1271 kW. Následné snižování výkonu PV vede opět k nárůstu odebíraného PHV.

Ve výsledku je nutné z celkové spotřeby 31,78 MWh dodat ze sítě 30,52 MWh. Průměrný odebraný PHV odpovídá 1271 kW. Pro jeho dosažení je nutné přesunout 2,17 MWh. To odpovídá 7,11 % celkového odběru (6,83 % celkové spotřeby).

Průběh BESS je zde podobnější průběhům v předchozích simulacích. V brzkých ranních hodinách odpovídá průměrný nabíjecí PHV 338 kW. Okolo 7:00 dochází k přechodu do vybíjecího režimu. Po dosažení vybíjecího PHV 221 kW v 9:00 dochází k snižování vybíjecího výkonu. Okolo 14:00 je tento výkon roven pouze 14,5 kW. Od této hodiny se opět zvyšuje a v 19:00 dosahuje denního maxima vybíjecího PHV 243 kW. K přechodu zpět do nabíjecího režimu dochází okolo 23:00. Vybíjení trvá přibližně 16 hodin.

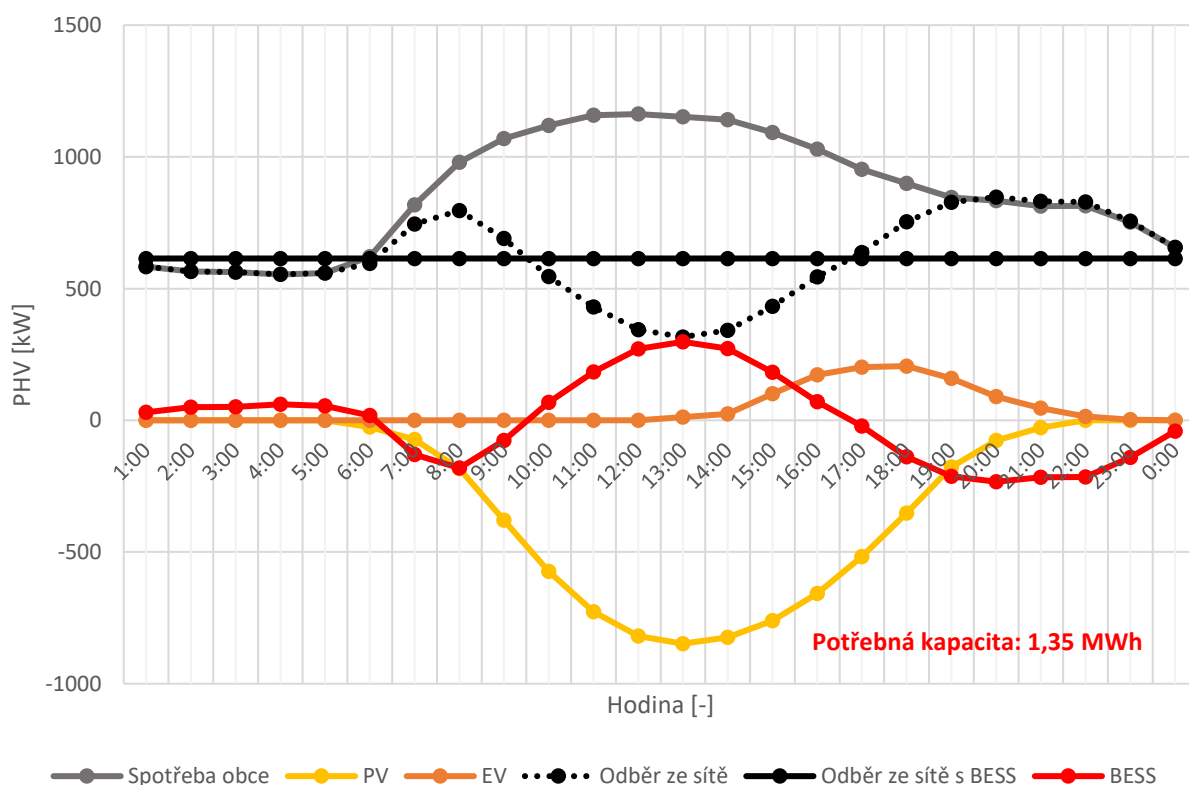
Stejně jako v červenci totožné varianty simulace se projevuje tendence k přechodu do nabíjecího režimu přibližně v půlce dne. To je zapříčiněno výraznějším instalovaným výkonem PV, který oproti roku 2018 výrazně narostl a který je již dostatečný pro promítnutí se do celkové bilance.

7.5.5 V1b

Simulace založená na spotřebě obce predikované v roce 2035 s vlivem PV (podle predikce 7.4) a EM (podle predikce 7.3).

Tab. 7-24 Parametry simulace V1b

Simulace	Spotřeba domácností	Fotovoltaika	Elektromobilita
V1b	2035	2035	2035



Obr. 7-31 Simulace V1b – červenec 2035

V této simulaci se již do spotřeby započítává jak samotná spotřeba obce, tak spotřeba zapříčiněná rozšířením EV. Spotřeba obce odpovídá 20,73 MWh. Její průběh je popsán v kapitole 7.5.3.

Denní energetický zisk PV, jehož průběh je popsán v kapitole 7.5.4, je roven 7,02 MWh.

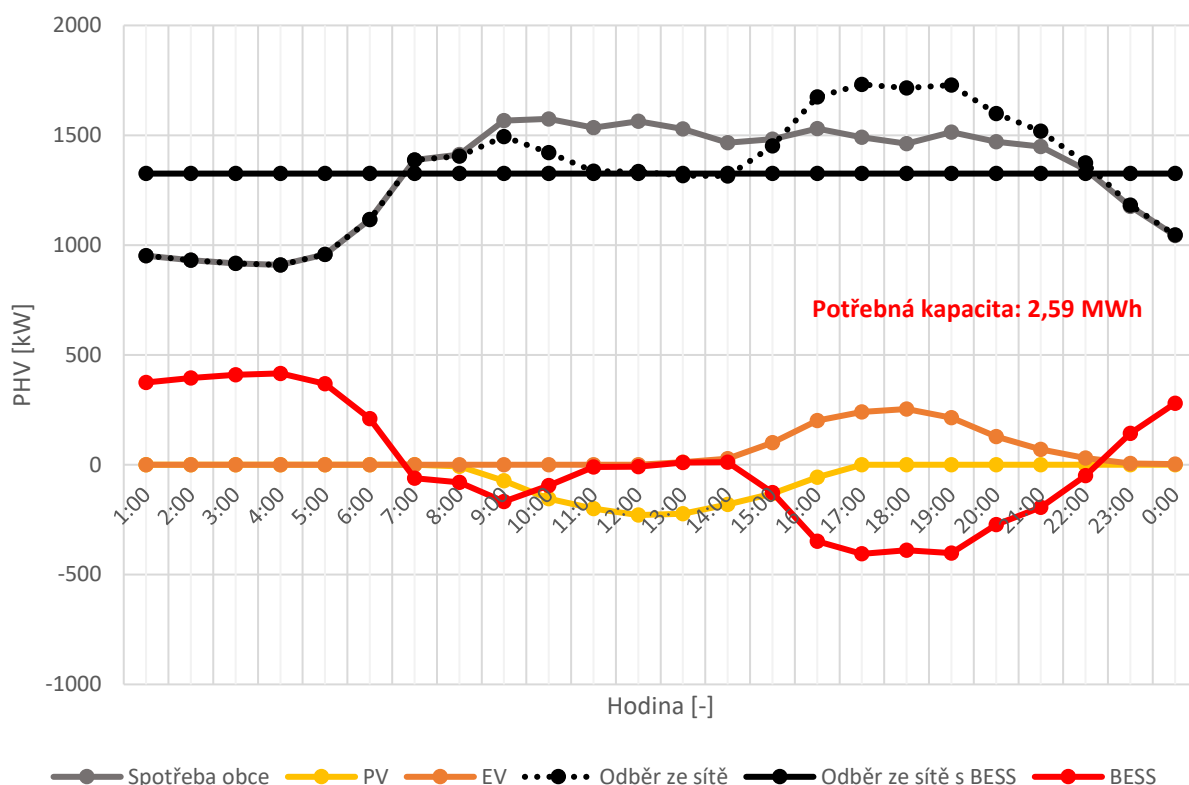
V oblasti EM se v obci Moravany předpokládá v roce 2035 celkem 154 elektromobilů. Jejich strukturu a specifika nabíjení popisuje kapitola 7.3. V této simulaci je uvažována struktura Mix, která v různém zastoupení obsahuje všechny typy EV. Uvažované nabíjení EV se začíná projevovat okolo 13:00. Nabíjecí PHV EV dosahuje maxima okolo 18:00 kdy je roven 205,8 kW. Od této hodiny klesá. Nabití všech elektromobilů a s tím spojený nulový nabíjecí výkon se předpokládá okolo 23:00. Celková denní energie spotřebovaná nabíjením odpovídá 1,03 MWh.

Průběh výsledného neregulovaného odběru ze sítě je velmi podobný průběhu v simulaci bez vlivu EM (kapitola 7.5.4). V brzkých ranních hodinách je průměrný odebíraný PHV 570 kW. Od 6:00 se odebíraný PHV zvyšuje a v 8:00 nabývá hodnoty 795 kW. Následné snižování odebíraného PHV vlivem nástupu výkonu PV pokračuje až do 13:00 kdy odebíraný PHV odpovídá 316 kW. Vlivem snižování výkonu PV a nástupu spotřeby zapříčiněné nabíjením EV dochází k následnému nárůstu odebíraného PHV. Jeho maximum o hodnotě 847 kW nastává v 20:00. V této časové oblasti se také objevuje přirozený rovnoměrný odběr ze sítě. Přibližně od 19:00 do 22:00 se odebíraný PHV pohybuje od 827 do 847 kW (v průměru 834 kW). Tento jev je způsobený úměrným snižováním vlivu všech složek, neboť se snižuje jak spotřeba obce a EV, tak výkon PV.

Ve výsledku je nutné z celkové spotřeby 21,76 MWh dodat ze sítě 14,74 MWh. Průměrný odebíraný PHV odpovídá 1272 kW. Pro jeho dosažení je nutné přesunout 1,61 MWh neboli 10,92 % celkového odběru (7,39 % celkové spotřeby). Z důvodu četnějšího přepínání režimů neodpovídá přesunutá energie potřebné kapacitě BESS. Po akumulaci denní výroby PV dochází k večernímu vybíjení a následnému mírnému dobíjení v ranních hodinách. Z tohoto důvodu vystačí pro denní vyrovnaní kapacita 1,35 MWh.

BESS se v brzkých ranních hodinách nabíjí průměrný nabíjecím PHV 49 kW. Mezi 6. a 10. hodinnou dopoledne se přepíná do vybíjecího režimu a pokrývá spotřebu před nástupem PV. Maximum v tomto vybíjení nastává okolo 8:00 a odpovídá 181 kW. Od přibližně 10:00 dochází k dobíjení BESS. Maximum nabíjecího PHV, odpovídající hodnotě 298 kW, nastává v 13:00. Přibližně v 17:00 se baterie přepíná do vybíjecího režimu, ve které setrvává přibližně do půlnoci (0:00).

Opět se zde projevuje vícečetné přepínání režimů BESS v průběhu dne. Pokrytí ranní špičky trvá přibližně 3 hodiny. Vybíjení BESS ve večerních hodinách trvá přibližně 8 hodin. Přibližně 83,5 % kapacity BESS se dobije v období výrazného výkonu PV. Pouze zbylých 16,5 % kapacity se dobije v brzkých ranních hodinách.



Obr. 7-32 Simulace V1b – prosinec 2035

V případě prosince je denní spotřeba obce 31,78 MWh (průběh popsán v kapitole 7.5.3). Denní energetický zisk PV odpovídá 1,25 MWh (průběh popsán v 7.5.4)

Energie nutná pro nabíjení EV se oproti červenci z důvodu nižších teplot zvýší. PHV pro nabíjení EV se projevuje opět okolo 13:00. Postupem času se zvyšuje. Maximum nastává v 18:00. V tomto čase je PHV pro nabíjení EV 253 kW. Následně dochází k poklesu. PHV pro nabíjení EV odeznívá okolo 23:00. Celkem se na dobíjení EV spotřebuje 1,29 MWh.

Neregulovaný výsledný odběr ze sítě se vyznačuje několika prvky. Zvýšení odebíraného PHV obce od 5:00 není z důvodu pozdějšího nástupu výkonu PV nijak omezováno. Výkon PV se začíná projevovat okolo 8:00 důsledkem čehož dochází k poklesu odebíraného PHV. Okolo 15:00 dochází k výraznému nástupu odebíraného PHV z důvodu připojování EV na nabíjení a poklesu výkonu PV. Denní maximum odebíraného PHV o hodnotě 1731 kW nastává v 17:00 což je přibližně hodinu před maximem PHV pro nabíjení EV.

Ve výsledku je nutné z celkové spotřeby 33,06 MWh dodat ze sítě 31,81 MWh. Průměrný odebíraný PHV odpovídá 1325 kW. Pro jeho dosažení je nutné přesunout 2,61 MWh neboli 8,2 % celkového odběru (7,89 % celkové spotřeby). Z důvodu mírného dobíjení v poledních hodinách vystačí akumulací kapacita 2,59 MWh.

BESS se v brzkých ranních hodinách nabíjí průměrný nabíjecím PHV 393 kW. Okolo 7:00 přechází do vybíjecího režimu, ve kterém pracuje přibližně do 11:00. Přibližně od této hodiny až do 14:00 se objevuje přirozeně vyrovnané období. V tomto období pracuje BESS na pomezí vybíjecího a nabíjecího režimu. Od 14:00 se BESS vybíjí a pokrývá zvýšené nároky na výkon zapříčiněné nabíjením EV. Maximální vybíjecí PHV o hodnotě 405 kW nastává okolo 17:00. Zpět

do nabíjecího režimu přechází BESS okolo 22:00. První vybíjení trvá přibližně 4 hodin. Druhé vybíjení trvá přibližně 8 hodin.

7.5.6 V2

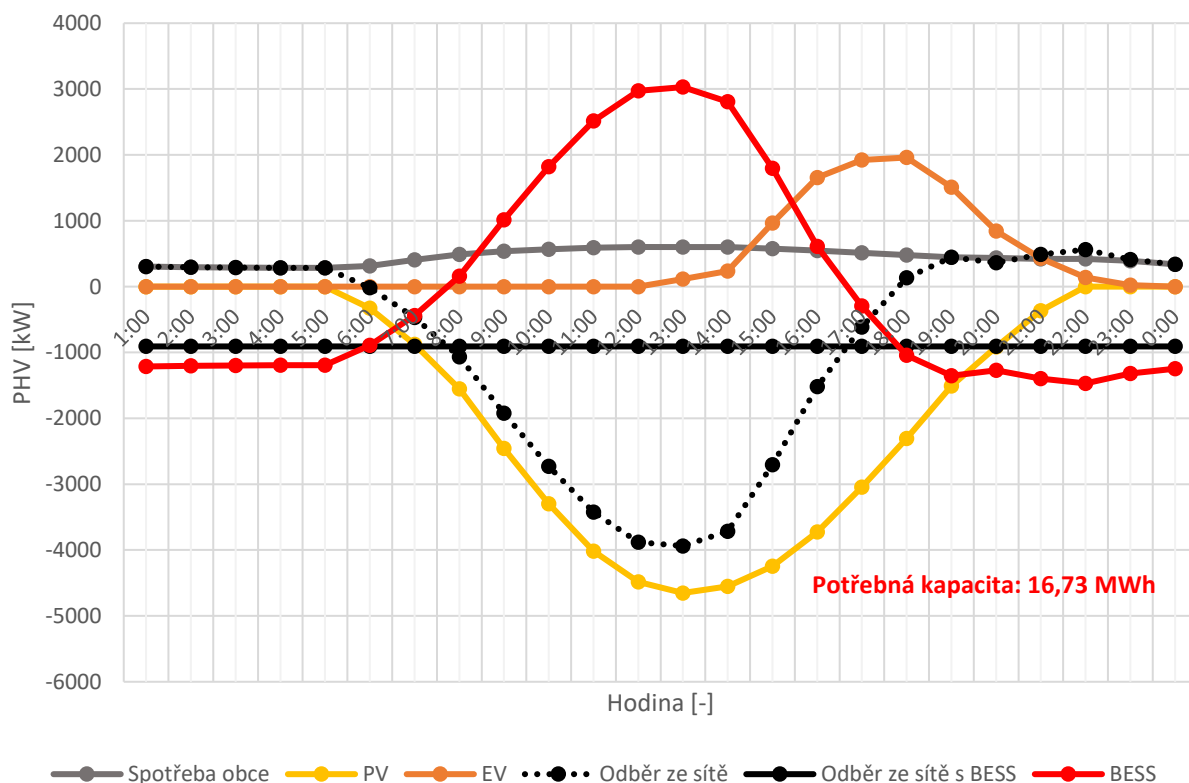
Speciální varianta simulace pro rok 2018. Uvažuje se instalace technického potenciálu PV, 100 % zastoupení elektrovozidel a standartní spotřeba obce v roce 2018.

Průběh výkonu instalace na úrovni technického potenciálu PV v obci Moravany vychází z práce [112]. Ta uvažuje v roce 2018 instalovaný výkon 21 860 kWp. Další podrobnosti technického potenciálu obce Moravany popisuje kapitola 7.4.

Podle dat CRV se v obci Moravany k 1.1.2019 nachází 1518 osobních automobilů. V této simulaci je uvažováno 100 % zastoupení EV neboli 1518 elektromobilů. Uvažuje se struktura Mix, které v různém zastoupení obsahuje všechny typy EV. Přesný popis struktury Mix, stejně jako další podmínky simulace EM, popisuje kapitola 7.3.

Tab. 7-25 Parametry simulace V2

Simulace	Spotřeba domácností	Fotovoltaika	Elektromobilita
V2	2018	Technický potenciál	OA = EV



Obr. 7-33 Simulace V2 – červenec

V simulaci je uvažována standartní spotřeba obce v roce 2018, která je detailněji popsána v kapitole 7.5.2. Ta odpovídá denní energii 10,73 MWh.

Uvažované PV se vyznačuje na dosavadní poměry velmi vysokým instalovaným výkonem. Nástup výkonu PV se objevuje okolo 6:00. Následně se výkon zvyšuje a v 13:00 nastává maximální PHV 4652 kW. Přibližně v 21:00 výroba ustává. Denní energetický zisk odpovídá 42,33 MWh.

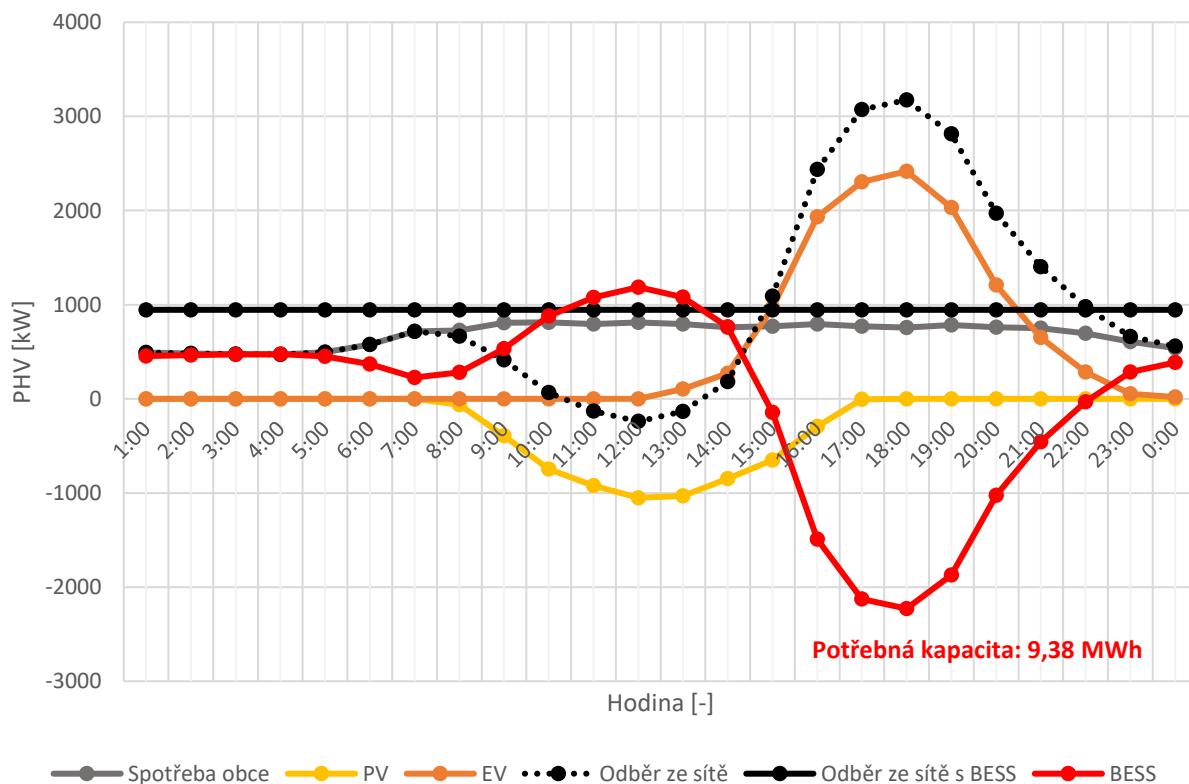
PHV odebíraný pro nabíjení EV se objevuje okolo 13:00. Maximální PHV pro EV nastává v 18:00 a odpovídá hodnotě 1960 kW. Nabíjení je dokončeno okolo 23:00. Denní spotřeba energie pro nabíjení EV činí 9,8 MWh.

Neregulovaný průměrný odebíraný PHV je na začátku dne přibližně 291 kW. Zvyšování odebíraného PHV obce v dopoledních hodinách je výrazně nižší než výroba PV. Okolo 6:00 PHV PV převyšuje veškerou spotřebu obce a začíná dodávat výkon do sítě. Maximum PHV dodávaného do sítě odpovídá výkonu 3938 kW a nastává ve 13:00. Následný nástup nabíjení EV a snižování výroby PV vede k snižování do sítě dodávaného výkonu a okolo 18:00 dochází k převaze spotřeby nad výrobou. Maximální odebíraný PHV nastává v 22:00 a je roven 562 kW.

Ve výsledku výroba převyšuje celkovou spotřebu 20,53 MWh a obec tak dodá do sítě 21,79 MWh. Průměrný dodávaný PHV odpovídá 908,27 kW. Pro jeho zajištění je nutné přesunout 16,73 MWh neboli 81,49 % celkové spotřeby (39,5 % celkové výroby).

BESS vlivem vysokého výkonu PV mění časové rozložení jednotlivých režimů. V brzkých ranních hodinách dochází na rozdíl od předchozích simulací k vybíjení průměrným PHV 1200 kW. Okolo 8:00 přechází BESS do režimu nabíjení a akumuluje nevyužitou energii PV. Maximální nabíjecí PHV nastává v 13:00 a odpovídá 3030 kW. Okolo 17:00 se začíná baterie vybíjet pro zajištění nabíjení EV. Maximální vybíjecí PHV 1470 kW nastává v 22:00.

Vybíjení trvá přibližně 15 hodin.



Obr. 7-34 Simulace V2 – prosinec

Uvažovaná spotřeba obce odpovídá spotřebě v prosinci 2018. Ta je popsána v kapitole 7.5.2 a je rovna 16,45 MWh.

Výkon PV nastupuje okolo 8:00. Maximální PHV 1050 kW nastává v 12:00. Přibližně v 16:00 výkon ustává. Denní energetický zisk odpovídá 6 MWh.

Energetické nároky EV jsou z důvodu nižších teplot vyšší. Maximální nabíjecí PHV nastává v 18:00 a odpovídá 2417 kW. Celková denní energie pro EV odpovídá 12,25 MWh.

Neregulovaný průměrný odebíraný PHV ze sítě nabývá v ranních hodinách hodnoty 483 kW. Okolo 6:00 dochází k zvýšení odebíraného PHV z důvodu nárůstu spotřeby obce. Okolo 8:00 však začíná projevovat výkon PV a odebíraný PHV se začíná snižovat. Mezi přibližně 10:00 až 13:00 se dostává do záporných hodnot a do sítě je dodáván přebytečný výkon PV. Výrazné zastoupení EM se okolo 13:00 projevuje nárůstem odebíraného PHV. Jeho maximum nastává stejně jako samotný PHV pro EV v 18:00 a nabývá hodnoty 3174 kW. Odebíraný PHV následně klesá až do nočních hodnot.

Ve výsledku je nutné z celkové spotřeby 28,7 MWh dodat ze sítě 22,7 MWh. Průměrný odebíraný PHV odpovídá 945,7 kW. Pro jeho dosažení je nutné přesunout 9,38 MWh neboli 41,32 % celkového odběru (32,68 % celkové spotřeby).

Oproti předchozím simulacím se baterie převážnou část dne nabíjí. To trvá přibližně 16 hodin. Vybíjení zabírá zbylých 8 hodin. Průměrný PHV nabíjení odpovídá 586 kW. Prakticky veškerá naakumulovaná energie se vybíjí v období nabíjení EV. Maximální vybíjecí PHV nastává v 18:00 a dosahuje 2228 kW.

7.6 Vyhodnocení simulací

Provedené simulací ukazují několik trendů.

Ze všech simulací skutečných nebo predikovaných stavů vychází vyšší potřebná kapacita BESS v zimních měsících. Tento výsledek je v souladu s Obr. 7-8 který na současných datech ukazuje spojitost mezi potřebnou vyrovnávací kapacitou s ročním obdobím. Opačný trend se objevuje pouze u simulací extrémních situací (simulace V2), kde je v zimních měsících potřebná akumulací kapacita nižší.

Simulace V0a a V1 ukazují nárůst potřebné vyrovnávací kapacity při nárůstu celkové spotřeby. V obou simulacích odpovídá potřebná akumulací kapacita přibližně 10 % celkové spotřeby. Tento výsledek je popsán již v Obr. 7-9, který vychází z analýzy reálných dat.

V letních měsících v roce 2035 samotná výroba PV zajišťuje nižší rozdíl mezi maximálním a minimálním odebíraným PHV. Odběr se však častěji zvyšuje a snižuje. (porovnání Obr. 7-27 a Obr. 7-29) V zimních měsících naopak PV narušuje přirozeně rovnoměrný odběr. (porovnání Obr. 7-28 a Obr. 7-30).

Nárůst instalovaného výkonu PV do určité úrovně snižuje potřebnou kapacitu BESS. To vychází z časového souladu zvýšené spotřeby obce s výrobou PV, která potřebný odběr ze sítě snižuje. Tento výsledek je vidět jak při porovnání simulací V0 s V0a, tak při porovnání V1 s V1a.

Ranní nárůst spotřeby obce nastává před nárůstem výkonu PV. Objevuje se tak přirozený časový posun mezi spotřebou a výrobou. V zimních měsících je tento posun výraznější. BESS na tuto skutečnost musí reagovat pokrytím ranní spotřeby. Zda baterie následně přejde do nabíjecího režimu nebo bude vybíjením nadále vykrývat spotřebu závisí na instalovaném výkonu PV.

Nabíjecí výkon EV se projevuje zejména ve večerních hodinách. V letních měsících kompenzuje přirozený pokles spotřeby obce. V zimních měsících s nižším poklesem spotřeby obce ve večerních hodinách způsobuje nárůst spotřeby. V časové oblasti nabíjení EV se objevuje celodenní maximální spotřeba. (simulace V1b)

Výsledná bilance spotřeby a výroby určuje rozložení režimů BESS. V případě převažující spotřeby se BESS v nočních hodinách nabíjí. Při přebytku energie (při masivní výrobě PV) BESS v nočních hodinách vybíjí energii naakumulovanou přes den.

V simulacích se zanedbáním PV a EV odpovídá rozložení režimů BESS střídání dne a noci. V nočních hodinách se BESS dobíjí, aby přes den pokrývalo zvýšenou spotřebu. V denním rozsahu tedy dochází ke dvěma změnám režimu. S narůstajícím výkonem PV dochází k většímu zvlnění odebíraného PHV. Na to BESS musí reagovat černějším střídáním režimů.

Četnější střídání režimů umožňuje instalaci optimálnější (nižší) kapacity BESS. Ta již nemusí být schopna akumulace celé přesunované energie. Četnější nabíjení a vybíjení umožňuje přesun energie po částech.

Nárůst výkonu PV do určité úrovně snižuje výkon, který musí být BESS schopno dodat nebo odebrat. Od určitého výkonu PV však musí BESS vyrovnávat polední špičku výkonu PV a požadovaný nabíjecí výkon musí být naopak vyšší.

Doba vybíjení se mezi měsíci v rámci jedné simulaci liší. Největší časový rozdíl se objevuje u simulace V1a uvažující spotřebu obce a výkon PV v roce 2035. Rozdíl odpovídá přibližně 9 hodinám. Tento rozdíl je způsoben instalovaným výkonem PV, který v letních měsících způsobuje

čtenější střídání režimu BESS. V zimních měsících výkon PV klesá a ani v nejintenzivnějších hodinách nestačí pro změnu režimu BESS.

Ve všech simulacích se objevuje relativně dlouhá doba vybíjení. V současné době upřednostňovaná Li-Ion BESS jsou rentabilní přibližně do 4 hodinové dodávání nominálního výkonu. Za současných podmínek se tedy pro zajištění vyrovnané spotřeby obce nehodí.

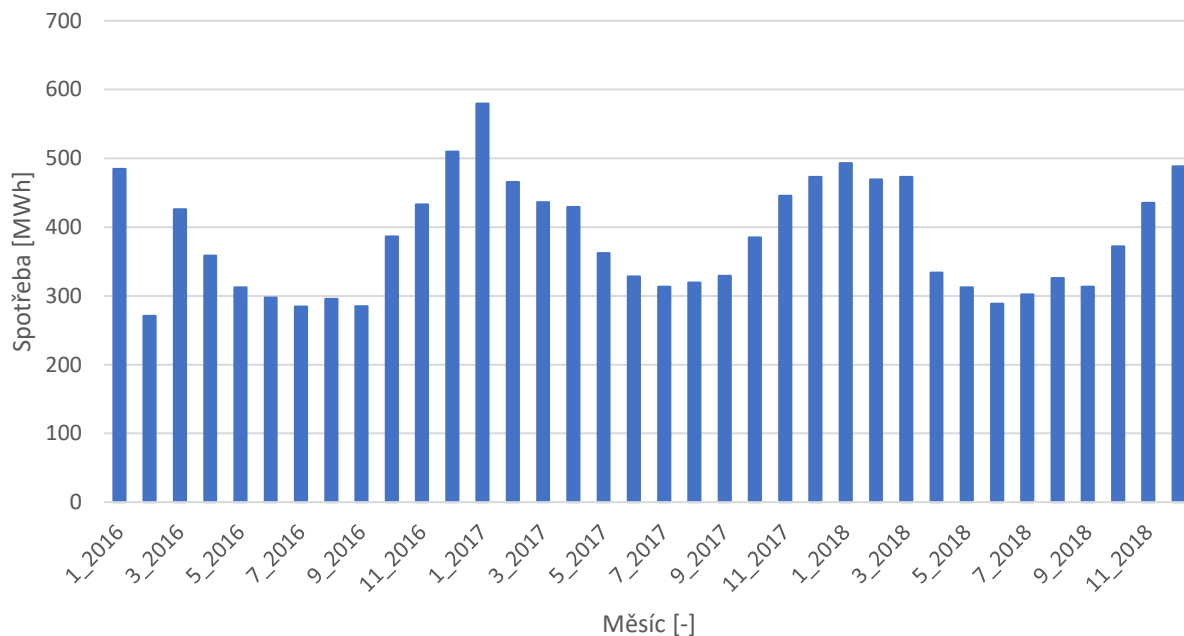
Uváděné kapacity odpovídají kapacitám za ideálních podmínek. Skutečná kapacita BESS musí být z důvodu ztrát a samovybíjení vyšší. Při návrhu síťového úložiště je nutné uvažovat přítomnost domácích bateriových úložišť. Ty jsou při vhodné spolupráci se sítí schopné zajišťovat vyrovnávací kapacitu stejně jako síťové BESS. Výsledná kapacita síťového BESS pak může být nižší právě o kapacitu domácích úložišť.

Tab. 7-26 Porovnání výsledků simulací

Simulace	Měsíc	Kapacita BESS [MWh]	Max. doba vybíjení [h]
V0	7	1,01	12
	12	1,32	16
V0a	7	1,18	11
	12	1,34	16
V1	7	2,25	11
	12	2,59	16
V1a	7	1,51	7
	12	2,17	16
V1b	7	1,35	8
	12	2,59	8
V2	7	16,73	15
	12	9,38	8

7.7 Baterie pro sezónní akumulaci

Pro současné podmínky můžeme z dostupných dat stanovit také minimální nutnou kapacitu pro sezónní vyrovnání.



Obr. 7-35 Měsíční spotřeba obce Moravany mezi roky 2016 a 2018¹¹

Sezonní vyrovnání vychází z dlouhodobější akumulace. V měsících s menší spotřebou dochází k ukládání energie pro pokrytí měsíců s vyšší spotřebou. Podle Obr. 7-35 se jedná ukládání energie v letních měsících pro pokrytí spotřeby v zimě.

Tab. 7-27 Parametry sezónní akumulace

Rok	Roční spotřeba [MWh]	Měsíční průměr [MWh]	Nutno naakumulovat [MWh]
2016	4344,33	362,03	429,55
2017	4868,11	405,78	395,55
2018	4608,14	383,01	439,51

Parametry jednotlivých let popisuje Tab. 7-27. Paradoxně nejnižší potřebná akumulovaná energie připadá na rok s nejvyšší spotřebou. Při uvažování pouze 3 period se však mohou výrazně projevit odchylky jednotlivých let oproti průměru, a proto nelze na základě těchto dat vyvozovat obecnější výsledky.

V případě nezprůměrovaných dat by také bylo vhodné vycházet z odlišně nastavené periody. Akumulace probíhá v letních měsících a pokrývá následnou zimu. Začátek a konec periody proto neodpovídá začátku a konci roku. Z důvodu nejednoznačnosti vhodného začátku je však uvažována perioda shodná s kalendářním rokem.

¹¹ Ve skutečnosti se jedná o odběr ze sítě. Z důvodu zanedbatelné výroby PV však můžeme uvažovat odběr ze sítě a spotřebu jako totéž.

8 ZÁVĚR

Současný směr rozvoje energetiky akumulacním systémům nahrává. Rozšiřování obnovitelných zdrojů vyšší akumulací schopnost sítě vyžaduje.

Velká část způsobů akumulování elektrické energie obnáší rozsáhlé úpravy místa instalace. Výstavba v dnešní době nejpoužívanějších akumulacních systémů – vodních přečerpávacích elektráren je spojená s rozsáhlými dlouhodobými pracemi a výrazným zásahem do krajiny. Nelze je také efektivně vybudovat všude. Podobnými problémy trpí i tlaková akumulace (CAES). Baterie se však ze svého principu mohou instalovat prakticky kdekoliv. Omezení spočívá hlavně v možnostech připojení k síti.

Současný vývoj naznačuje, že největší část bateriových systémů bude využívat Li-Ion baterie. Jejich velká hustota uložené energie, schopnost velmi rychlé reakce, relativně jednoduchá údržba, stejně jako snižující se cena jsou předpoklady pro jejich využití v elektrických soustavách. Další perspektivní technologií bateriových úložišť jsou průtokové baterie. Ty jsou, díky možnosti jednoduchého zvýšení akumulací kapacity, výhodnější než baterie Li-Ion v aplikacích vyžadujících dodávání nominálního výkonu nad 4 hodiny.

Bateriových úložišť různých výkonů existuje po světě celá řada. Stále více mezinárodních energetických společností jejich výstavbu plánuje. Se snižující se cenou baterií a zvyšujícím se podílem obnovitelných zdrojů elektrické energie můžeme předpokládat, že se poptávka po těchto systémech ještě výrazně zvýší.

Jednu chvíli největší bateriové úložiště Hornsdale s výkonem 100 MW, vybudované na jihu Austrálie, si udrželo své prvenství pouze zhruba pět měsíců. Výkonem 150 MW je překonalo úložiště společnosti Korea Zinc v Jižní Koreji. Na konci roku 2020 by prvenství mělo převzít úložiště z projektu společnosti PG&E o výkonu 300 MW. V porovnání s jinými v současné době využívanými akumulací systémy se však jedná o relativně malé výkony. Jen česká přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně disponuje instalovaným výkonem 650 MW.

V České republice se v současné době provozují dvě velká bateriová úložiště. Úložiště o výkonu 1 MW provozuje v Prakšicích na Uherskohradištsku společnost Solar Global. Druhé úložiště o výkonu 1,6 MW provozuje společnost E.ON v Mydlovarech na Českobudějovicku.

Legislativa České republiky v oblasti akumulace zaostává. Současný energetický zákon pojem akumulace elektrické energie nezná. Ani po více než roce od instalace prvního bateriového úložiště v České republice nemá současná legislativa jednoznačná pravidla jejich používání. Vytvoření jasných pravidel můžeme očekávat kolem roku 2020, kdy má vyjít zcela nový energetický zákon. I přes současnou absenci legislativních podmínek se však většina větších energetických společností v ČR o akumulaci zajímá a s jejich nasazením počítá.

Návrh BESS pro vykrývání špičkového zatížení vychází z denní periodicity a slouží k zrovnoměrnění odběru ze sítě. Vhodná míra zrovnoměrnění závisí na mnoha faktorech a musí vycházet z parametrů systému, ve kterém bude úložiště pracovat. Vzatažným bodem je dokonalé vykrytí špiček, při kterém je odběr v rámci uvažované periody konstantní.

Požadavky na akumulaci pro vyrovnaní denního odběru se v průběhu roku mění. V obci Moravany po celý rok odpovídají přibližně 10 % denní spotřeby energie. V roce 2018 by pro zajištění denního rovnoměrného odběru v 98 % dnech bylo nutné BESS s kapacitou 1,71 MWh.

Při stanovování budoucích požadavků na schopnosti BESS pro potřeby obce je nutné uvažovat rozvoj fotovoltaických elektráren a vyšší zastoupení elektromobility. Na základě současných prognóz můžeme u PV s výkonem do 11 kW očekávat v roce 2035 až 19,58násobek instalací oproti roku 2018. U vozového parku se v ČR v roce 2035 očekává 5,72 % zastoupení EV.

V obci Moravany by tento vývoj vedl v letních měsících k potřebné kapacitě 1,35 MWh. Zejména v zimních měsících však dochází k nárůstu spotřeby vlivem vytápění. Stejně tak se v průběhu roku mění denní energetický zisk PV, který v prosinci dosahuje pouze 17,81 % zisku v porovnání s červencem. Z důvodu nižších teplot se také o 25 % zvýší spotřeba elektromobilů. Všechny tyto jevy se na potřebné kapacitě vyrovnávacího BESS projeví, neboť by muselo disponovat kapacitou 2,59 MWh.

V případě maximálního možného rozšíření PV a EV převyšuje výroba v letních měsících výrazným způsobem spotřebu. Výkon PV je až 6,5krát vyšší než spotřebovávaný výkon. BESS zajišťuje primárně přesun denní výroby PV do nočních hodin. V zimních měsících je výroba PV výrazně nižší a v obci převažuje spotřeba. Nabíjecí výkon EV je až 3,2krát vyšší než spotřeba obce. Potřebná kapacita BESS z důvodu nižší produkce PV dosahuje 56 % potřebné kapacity v letních měsících.

Z většiny simulací vychází relativně dlouhá doba vybíjení převyšující 4 hodiny. Zejména v zimních měsících vyžaduje vyrovnání až 16 hodinové vybíjení. Za těchto podmínek není technologie Li-Ion pro denní vyrovnání odběru vhodná.

Z analýzy spotřeby elektrické energie v průběhu roku 2018 vyplývá, že pro zajištění vyrovnaného odběru obce Moravany v rámci sezónní akumulace by bylo nutné naakumulovat 439,51 MWh.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] AHMAD HAMIDI, Seyed, Dan M. IONEL a Adel NASIRI. Modeling and Management of Batteries and Ultracapacitors for Renewable Energy Support in Electric Power Systems—An Overview. *Electric Power Components and Systems* [online]. Taylor & Francis, 2015, 43(12), 1434-1452 [cit. 2018-11-27]. DOI: 10.1080/15325008.2015.1038757. ISSN 1532-5008.
- [2] Air could be the world's next battery. *Phys* [online]. 28. March 2017 [cit. 2018-11-05]. <https://phys.org/news/2017-03-air-world-battery.html>
- [3] ARAI, J., K. IBA, T. FUNABASHI, Y. NAKANISHI, K. KOYANAGI a R. YOKOYAMA. Power electronics and its applications to renewable energy in Japan. *Circuits and Systems Magazine, IEEE* [online]. USA: IEEE, 2008, 8(3) [cit. 2018-11-22]. DOI: 10.1109/MCAS.2008.928420. ISSN 1531-636X.
- [4] AREPALLI, S., H. FIREMAN, C. HUFFMAN, et al. Carbon-nanotube-based electrochemical double-layer capacitor technologies for spaceflight applications. *JOM* [online]. New York: Springer-Verlag, 2005, 57(12), 26-31 [cit. 2018-11-27]. DOI: 10.1007/s11837-005-0179-x. ISSN 1047-4838.
- [5] BAIDAWI, Adam. Australia Powers Up the World's Biggest Battery: Courtesy of Elon Musk. *The New York Times* [online]. 30. 11. 2017 [cit. 2019-01-05]. <https://www.nytimes.com/2017/11/30/world/australia/elon-musk-south-australia-battery.html>
- [6] BARTOŠ, Luděk a Aleš RICHTER. Aktualizace prognózy vývoje automobilové dopravy v ČR metodou jednotného součinitele růstu: 1. část. Silniční obzor [online]. 2013, Únor 2013, 74 [cit. 2019-04-07]. <http://www.edip.cz/docs/mohlo-by-vas-zajimat/2013-clanek-silnicni-obzor-aktualizace-prognozy-vyvoje-automobilove-dopravy-v-cr.pdf>
- [7] BOLUND, Björn, Hans BERNHOFF a Mats LEIJON. Flywheel energy and power storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2007(11), 235-258 [cit. 2018-11-27]. ISSN 1364-0321.
- [8] ČAMBALA, Petr et al. *Oponentní posudek k vybraným tématům z návrhu Národního Klimaticko-Energetického Plánu (NKEP) pro oblast FVE* [online]. EGÚ Brno [cit. 2019-05-10]. https://www.solarniasociace.cz/aktuality/20190107_oponentni-posudek-k-nkep-pro-fve.pdf
- [9] Češi ročně ujedou deset až dvacet tisíc kilometrů. *Auto.cz* [online]. 15.11.2013 [cit. 2019-05-14]. <https://www.auto.cz/cesi-rocne-ujedou-deset-az-dvacet-tisic-kilometru-77823>
- [10] Český statistický úřad: *Počet obyvatel v obcích - produkty od 2004 do 2019* [online]. Český statistický úřad [cit. 2019-05-11]. <https://www.czso.cz/csu/czso>
- [11] CHEDIAK, Mark. California Moves to Replace Gas Plants With Batteries From Tesla. *Bloomberg* [online]. 8 November 2018 [cit. 2019-01-05]. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-11-08/california-moves-to-replace-gas-plants-with-batteries-from-tesla>
- [12] CHEN, Haisheng, Thang Ngoc CONG, Wei YANG, Chunqing TAN, Yongliang LI a Yulong DING. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science* [online]. Elsevier, 2009, 19(3), 291-312 [cit. 2018-11-22]. DOI: 10.1016/j.pnsc.2008.07.014. ISSN 1002-0071.

- [13] Compressed Air Energy Storage (CAES). *Energy storage* [online]. [cit. 2018-11-05]. <http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes>
- [14] ČSN EN 50160 ED.3 (330122): Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. *Technor: Ing. Jiří Řezníček* [online]. [cit. 2018-12-01]. http://www.technicke-normy-csn.cz/330122-csn-en-50160-ed-3_4_87467.html
- [15] Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR: IV. čtvrtletí 2018 [online]. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2018 [cit. 2019-05-10]. http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Ctvrtletni_zprava_2018_IV_Q.pdf/f47bc2a0-05e3-4402-a1db-5b6e2b0a44a4
- [16] Databáze demografických údajů za obce ČR. *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2019-04-01]. <https://www.czso.cz/csu/czso/databaze-demografickych-udaju-za-obce-cr>
- [17] DEIGN, Jason. German Utility EWE Plans a Flow Battery Big Enough to Power Berlin for an Hour. *Green tech media* [online]. 20 July 2017 [cit. 2019-01-05]. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/german-utility-plans-a-flow-battery-big-enough-to-power-berlin#gs.yrN7eGdU>
- [18] DEIGN, Jason. The Global Race to Build the World's Biggest Battery. *Green tech media* [online]. 1 August 2018 [cit. 2019-01-05]. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/the-global-race-to-build-the-worlds-biggest-battery#gs.yLrvIJDa>
- [19] DENG, Da, Min Gyu KIM, Jim Yang LEE a Jaephil CHO. Green energy storage materials: Nanostructured TiO₂ and Sn-based anodes for lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science* [online]. 2009, 2(8), 818-837 [cit. 2018-10-20]. DOI: 10.1039/b823474d. ISSN 1754-5692.
- [20] DENG, Da. Li-ion batteries: basics, progress, and challenges. *Energy Science & Engineering* [online]. 2015, 3(5), 385-418 [cit. 2018-10-20]. DOI: 10.1002/ese3.95. ISSN 2050-0505.
- [21] DENKOVÁ, Adéla. Česko bude mít zcela nový energetický zákon. Vzniknout by mohl do tří let. <https://euractiv.cz/> [online]. 21. 5. 2018 [cit. 2018-12-31]. <https://euractiv.cz/section/energetika/news/cesko-bude-mit-zcela-novy-energeticky-zakon-vzniknout-by-mohl-do-tri-let/>
- [22] DESPOSITO, Joe. Flywheels Land in Stephentown, New York. *Electronic design* [online]. 2 August 2011 [cit. 2018-11-11]. <https://www.electronicdesign.com/blog/flywheels-land-stephentown-new-york>
- [23] DÍAZ-GONZÁLEZ, Francisco, Andreas SUMPER, Oriol GOMIS-BELLMUNT a Roberto VILLAFÁFILA-ROBLES. A review of energy storage technologies for wind power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2012, 16(4), 2154-2171 [cit. 2018-11-22]. DOI: 10.1016/j.rser.2012.01.029. ISSN 1364-0321.
- [24] DOE Global Energy Storage Database: Search Projects [online]. [cit. 2019-01-03]. <https://www.energystorageexchange.org/projects>
- [25] DOHNAL, Martin. *Provoz elektrizační soustavy s velkým počtem netočivých zdrojů elektrické energie*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017, 82 listů : ilustrace + 1 CD-ROM.

- [26] DOUGHTY, D. a E.P. ROTH. A general discussion of Li Ion battery safety. *Electrochemical Society Interface* [online]. Electrochemical Society, 2012, 21(2), 37-44 [cit. 2018-10-20]. DOI: 10.1149/2.F03122if. ISSN 10648208.
- [27] E.ON zprovozní velké bateriové úložiště, bude kompenzovat odchylky. *https://ct24.ceskatelevize.cz/* [online]. 12. 2. 2018 [cit. 2019-01-03]. <https://ct24.ceskatelevize.cz/ekonomika/2388601-eon-zprovoznil-velke-bateriove-uloziste-bude-kompenzovat-odchylky>
- [28] *Electric Vehicle Database* [online]. [cit. 2019-05-09]. <https://ev-database.org/>
- [29] Electrochemical energy storage: simple definition. *Energie rs2e*. [online]. [cit. 2018-11-29]. <http://www.energie-rs2e.com/en/articleblog/electrochemical-energy-storage-simple-definition>
- [30] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Roční zpráva o provozu ES ČR: 2017* [online]. Praha: Energetický regulační úřad, 2018 [cit. 2018-11-29]. http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2017.pdf/521bff99-fdcf-4c86-8922-3a346af0bb88
- [31] *Energon advanced energetics: POWER SOLUTIONS FOR THE FUTURE* [online]. [cit. 2019-01-04]. <http://www.energon-ae.cz/>
- [32] *Energy storage applications* [online]. [cit. 2018-12-01]. <https://new.abb.com/distributed-energy-microgrids/applications/energy-storage-applications>
- [33] EWE plans to build the world's largest battery. *EWE* [online]. 22. 6. 2017 [cit. 2019-01-05]. <https://www.ewe.com/en/media/press-releases/2017/06/ewe-plans-to-build-the-worlds-largest-battery-ewe-ag>
- [34] FELT, Marek. Velkokapacitní bateriové úložiště je v České republice. *21. století* [online]. 24. 8. 2018 [cit. 2019-01-04]. <https://21století.cz/2018/08/24/velkokapacitni-bateriove-uloziste-je-v-ceske-republice/>
- [35] FETCENKO, M.A., S.R. OVSHINSKY, B. REICHMAN, et al. Recent advances in NiMH battery technology. *Journal of Power Sources* [online]. Elsevier B.V, 2007, 165(2), 544-551 [cit. 2018-11-21]. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2006.10.036. ISSN 0378-7753.
- [36] FIGENBAUM, Erik a Marika KOLBENSTVEDT. *Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users: Results from a survey of vehicle owners* [online]. Oslo: Institute of Transport Economics (TØI), 2016 [cit. 2019-05-09]. ISBN 978-82-480-1718-9. <https://www.toi.no/publications/learning-from-norwegian-battery-electric-and-plug-in-hybrid-vehicle-users-results-from-a-survey-of-vehicle-owners-article33869-29.html>
- [37] FIGENBAUM, Erik. *Electromobility status in Norway: Mastering long distances – the last hurdle to mass adoption* [online]. Oslo: Institute of Transport Economics (TØI), 2018 [cit. 2019-05-09]. ISBN 978-82-480-2135-3. <https://www.toi.no/publications/electromobility-status-in-norway-mastering-long-distances-the-last-hurdle-to-mass-adoption-article34903-29.html>
- [38] FITZGERALD WEAVER, John. World's largest battery: 200MW/800MWh vanadium flow battery – site work ongoing. *Electrek* [online]. 21 December 2017 [cit. 2019-01-05]. <https://electrek.co/2017/12/21/worlds-largest-battery-200mw-800mwh-vanadium-flow-battery-rongke-power/>

- [39] FRANCOVÁ, Anna. Akumulační a bateriové systémy pohledem právníka: jak je využít pro zvýšení energetických úspor. *Frank Bold Advokáti* [online]. 22. 12. 2017 [cit. 2018-12-31]. <https://www.fbadvokati.cz/cs/clanky/667-akumulacni-a-bateriove-systemy-pohledem-pravnika-jak-je-vyuzit-pro-zvyseni-energetickych-uspor>
- [40] FROESE, MICHELLE. How three battery types work in grid-scale energy storage systems. *Energy storage networks* [online]. 25 January 2018 [cit. 2018-10-20]. <https://www.energystoragenetworks.com/three-battery-types-work-grid-scale-energy-storage-systems/>
- [41] GESKE, Joachim;schumann. Willing to participate in vehicle-to-grid (V2G)? Why not!. *Energy Policy* [online]. Kidlington: Elsevier Science, 2018, 120, 392 [cit. 2019-01-05]. ISSN 03014215. <http://search.proquest.com/docview/2116626671/>
- [42] *Google Earth* [online]. [cit. 2019-05-10]. <https://earth.google.com>
- [43] *Google Maps* [online]. [cit. 2019-05-10]. <https://www.google.com/maps/>
- [44] GOONAN, T.G. Lithium use in batteries. *US Geological Survey Circular* [online]. 2012, (1371), 1-22 [cit. 2018-10-20]. ISSN 1067084X.
- [45] Graphene Supercapacitors: Introduction and News. *Graphene info* [online]. 24 October 2018 [cit. 2018-11-27]. <https://www.graphene-info.com/graphene-supercapacitors>
- [46] HAYASHI, H., Y. HATABE, T. NAGAFUCHI, A. TAGUCHI, K. TERAZONO, T. ISHII a S. TANIGUCHI. Test Results of Power System Control by Experimental SMES. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on* [online]. USA: IEEE, 2006, 16(2), 598-601 [cit. 2018-11-28]. DOI: 10.1109/TASC.2006.871331. ISSN 1051-8223.
- [47] HIRST, E., B. KIRBY a UNITED STATES. DEPARTMENT OF ENERGY. OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. *Unbundling generation and transmission services for competitive electricity markets* [online]. Oak Ridge National Laboratory, 1998 [cit. 2018-12-02]. DOI: 10.2172/611849.
- [48] *Hornsedale: Power reserve* [online]. [cit. 2019-01-05]. <https://hornsdalepowerserve.com.au/>
- [49] Hyundai Electric dokončuje největší průmyslové BESS na světě (v orig. 현대일렉트릭, 세계 최대 산업용 ESS 완공). *Hyundai electric* [online]. 4. 4. 2018 [cit. 2019-01-06]. <http://www.hyundai-electric.com/elec/ko/news/newsDetail.jsp>
- [50] Hyundai Electric to break the record for world's largest battery. *Climate Action* [online]. 6 December 2017 [cit. 2019-01-05]. <http://www.climateaction.org/news/hyundai-electric-to-break-the-record-for-worlds-largest-battery>
- [51] ICLODEAN, C., B. VARGA, N. BURNETE, D. CIMERDEAN a B. JURCHIȘ. Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. Institute of Physics Publishing, 2017, 252(1), xocs:firstpage xmlns:xocs="" [cit. 2018-10-20]. DOI: 10.1088/1757-899X/252/1/012058. ISSN 17578981.
- [52] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC White paper: Electrical Energy Storage* [online]. Geneva, Switzerland, 2011 [cit. 2018-11-28]. ISBN 978-2-88912-889-1. <https://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>

- [53] IS PUMPED STORAGE HYDRO THE KEY TO INCREASING RENEWABLES IN AUSTRALIA?. *Entura* [online]. 16 November 2016 [cit. 2019-05-23]. <http://www.entura.com.au/is-pumped-storage-hydro-the-key-to-increasing-renewables-in-australia/>
- [54] J.-M. TARASCON a M. ARMAND. Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature* [online]. Nature Publishing Group, 2001, 414(6861), 359 [cit. 2018-10-20]. DOI: 10.1038/35104644. ISSN 0028-0836.
- [55] Jaký je rozdíl mezi citelným a latentním teplem?. *Daikin* [online]. [cit. 2018-12-02]. https://www.daikin.cz/cs_cz/casto-kladene-otazky/jaky-je-rozdil-mezi-citelnym-a-latentnim-teplem.html
- [56] JI-WOONG, Moon. Hyundai Electric to build 150-MW ESS for Korea Zinc. *Pulse: by Maeil Business News Korea* [online]. 27. 7. 2017 [cit. 2019-01-05]. <https://pulsenews.co.kr/view.php?sc=30800028&year=2017&no=505105>
- [57] KIM, Jisun, Yulianto SUHARTO a Tugrul U. DAIM. Evaluation of Electrical Energy Storage (EES) technologies for renewable energy: A case from the US Pacific Northwest. *Journal of Energy Storage* [online]. Elsevier, 2017, 11, 25-54 [cit. 2018-11-28]. DOI: 10.1016/j.est.2017.01.003. ISSN 2352-152X.
- [58] KODEX PŘENOSOVÉ SOUSTAVY: Část I., Základní podmínky pro užívání přenosové soustavy [online]. Revize 18. 2018 [cit. 2018-12-01].
- [59] Konzultace s Martinem ŠTEFKEM, autorem bakalářské práce Potencionální produkce elektrické energie ze střešních fotovoltaických elektráren v obci do 3000 obyvatel zaměřené na obec Moravany. Brno 15.4.2019
- [60] KORBEL, Petr. Elektromobilita promění Česko: Vzniknou nová pracovní místa, změní se průmysl. V roce 2025 bude po silnicích jezdit už 100 tisíc elektroaut. *Ekonom* [online]. 14. 2. 2019 [cit. 2019-04-07]. <https://ekonom.ihned.cz/c1-66477650-jak-cesko-zmeni-elektromobilita>
- [61] Kraftwerk Huntorf. *Energy storage exchange* [online]. 18. April 2016 [cit. 2018-11-06]. <http://www.energystorageexchange.org/projects/1245>
- [62] KRATSCHMER, Bruno. *Akumulace elektrické energie z OZE* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2013 [cit. 2018-10-15]. <http://hdl.handle.net/11012/20955>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.
- [63] LAMBERT, Fred. Tesla and others to deliver over 2 GWh of energy storage in California project to replace 3 gas plants. *Electrek* [online]. 9 November 2018 [cit. 2019-01-05]. <https://electrek.co/2018/11/09/tesla-pge-giant-energy-storage-replace-gas-plants/>
- [64] LEUNG, Puiki, Xiaohong LI, Carlos PONCE DE LEN, Leonard BERLOUIS, C. T. John LOW a Frank C. WALSH. Progress in redox flow batteries, remaining challenges and their applications in energy storage. *RSC Advances* [online]. 2012, 2(27), 10125-10156 [cit. 2018-11-22]. DOI: 10.1039/c2ra21342g. ISSN 2046-2069.
- [65] LIN, C.E., Y.S. SHIAO, C.L. HUANG a P.S. SUNG. A Real and Reactive Power Control Approach for Battery Energy Storage System. *Power systems* [online]. 1992, 3 august 1992, (Vol. 7, No.3), 1132-1140 [cit. 2018-12-01]. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=207326>

- [66] Lithium Ion (LI-ION) Batteries. *Energy Storage Association* [online]. [cit. 2019-02-15]. <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/lithium-ion-li-ion-batteries>
- [67] LUO, Xing, Jihong WANG, Mark DOONER a Jonathan CLARKE. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy* [online]. Elsevier, 2015, 137(C), 511-536 [cit. 2018-11-21]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.081. ISSN 0306-2619.
- [68] M, Martin. 3 Strategies to Reduce Peak Demand at Industrial Sites. *Electrical installation & energy efficiency: Electrical engineering community* [online]. 5 January 2015 [cit. 2018-11-29]. <http://engineering.electrical-equipment.org/energy-efficiency-building/3-strategies-to-reduce-peak-demand-at-industrial-sites.html>
- [69] MAJLING, Eduard. Nissan a Enel představily projekt akumulace s využitím elektromobilů. *O energetice* [online]. 12 Květen 2016 [cit. 2019-01-05]. <http://oenergetice.cz/akumulace-energie/nissan-a-enel-predstavily-projekt-akumulace-s-vyuzitim-elektromobilu/>
- [70] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2019-05-10]. <https://en.mapy.cz/>
- [71] McIntosh CAES Plant. *Energy storage exchange* [online]. 23. May 2016 [cit. 2018-11-06]. <http://www.energystorageexchange.org/projects/136>
- [72] MOLEK, Tomáš. Supravodivost – princip a využití. *O energetice* [online]. 5 října 2015 [cit. 2018-11-28]. <http://oenergetice.cz/technologie/supravodivost-princip-a-vyuziti/>
- [73] MUŘICKÝ, Eduard. Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 19. listopadu 2018 [cit. 2019-04-07]. https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2018/11/4WS_MPO.pdf
- [74] Mydlovary: Akumulace v režii Siemens. *Siemens: ingenuity for life* [online]. [cit. 2019-01-04]. <https://www.siemens.com/cz/cz/home/products/energy/medium-voltage/solutions/siestorage/mydlovary.html>
- [75] Národní akční plán čisté mobility: (NAP CM). *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. říjen 2015 [cit. 2019-04-07]. [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/SOPSZP-NAP_CM-20160105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSZP-NAP_CM-20160105.pdf)
- [76] NGUYEN, Troy V. Integration of compressed air energy storage with wind turbine to provide energy source for combustion turbine generator. In: *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2014 IEEE PES* [online]. IEEE, 2014, 2015-(January), s. 1-5 [cit. 2018-11-06]. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2014.7028747.
- [77] NGUYEN, Trung a Robert F. SAVINELL. Flow Batteries. *The Electrochemical Society Interface* [online]. 2010, 19(3), 54-56 [cit. 2018-11-22]. DOI: 10.1149/2.F06103if. ISSN 1064-8208.
- [78] NIELSEN, Knut Erik a Marta MOLINAS. Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) in power systems with renewable energy sources. In: *Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on* [online]. IEEE Publishing, 2010, s. 2487-2492 [cit. 2018-11-28]. DOI: 10.1109/ISIE.2010.5637892. ISBN 9781424463909.
- [79] *Nordic EV Outlook 2018: Insights from leaders in electric mobility* [online]. Paris: IEA, 2017 [cit. 2019-05-09]. <https://webstore.iea.org/nordic-ev-outlook-2018>
- [80] Obyvatelstvo. *Český statistický úřad* [online]. 30.4.2019 [cit. 2019-05-08]. https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide

- [81] PARKINSON, Giles. Revealed: True cost of Tesla big battery, and its government contract. *Renew economy* [online]. 21 September 2018 [cit. 2019-01-05]. <https://reneweconomy.com.au/revealed-true-cost-of-tesla-big-battery-and-its-government-contract-66888/>
- [82] PETRUŽELA, Ivan. *Elektrizační soustava* [online]. 2006 [cit. 2019-02-13]. https://home.pilsfree.net/fantom/FEL/MR/FEL_CVUT/lekce02_06.pdf
- [83] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. European Commission Joint Research Centre [cit. 2019-05-10]. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
- [84] PICKARD, William F., Amy Q. SHEN a Nicholas J. HANSING. Parking the power: Strategies and physical limitations for bulk energy storage in supply–demand matching on a grid whose input power is provided by intermittent sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Elsevier, 2009, 13(8), 1934–1945 [cit. 2018-11-28]. DOI: 10.1016/j.rser.2009.03.002. ISSN 1364-0321.
- [85] *POČET OBYVATEL V OBCÍCH: k 1. 1. 2019* [online]. 130072-19. Praha: Český statistický úřad, 2019 [cit. 2019-05-08]. <https://www.czso.cz/documents/10180/91917344/13007219.pdf/deb188e2-72b4-4047-97e8-ae7975719db4?version=1.0>
- [86] Populační prognóza ČR do r.2050 - N. *Český statistický úřad* [online]. 30. 6. 2004 [cit. 2019-04-07]. <https://www.czso.cz/documents/10180/20538390/4025rra.pdf/9142790b-9517-463c-860b-8fc78897f30d?version=1.0>
- [87] Powerwall. *Tesla* [online]. [cit. 2019-02-15]. https://www.tesla.com/en_EU/powerwall?redirect=no
- [88] Přecherčpávací elektrárna Dlouhé stráně. *Svet energie* [online]. [cit. 2018-11-05]. <https://www.svetenergie.cz/cz/elektrarny/vodni-elektrarny/vodni-elektrarny-cez/precerpavaci-elektrarna-dlouhe-strane>
- [89] Přehled stavu vozového parku: Prosinec 2018. *Svaz Dovozců Automobilů: Car Importers Association* [online]. [cit. 2019-05-08]. <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?v#rok=2018&mesic=12&kat=stav&vyb=&upr=&obd=m&jine=false&lang=CZ&str=vpp>
- [90] *Příloha 4 PPDS: Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí*. In: . Provozovatelé distribučních soustav, ročník 2017. Dostupné také z: https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2017_priloha-4.pdf
- [91] Project application: Energy storage & peak load shifting power plant project profil. *Rongke power* [online]. [cit. 2019-01-05]. <http://www.rongkepower.com/Product/show/catid/175/id/103/lang/en.html>
- [92] Project database results - CAES. *Energy storage exchange* [online]. [cit. 2018-11-06]. http://www.energystorageexchange.org/projects/global_search?q=CAES%C2%A8
- [93] Project objectives - RICAS. *Http://www.ricas2020.eu/* [online]. [cit. 2018-11-06]. <http://www.ricas2020.eu/project/project-objectives/>
- [94] Pumped Hydroelectric Storage. *Http://energystorage.org* [online]. [cit. 2018-10-15]. <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/pumped-hydroelectric-storage>

- [95] REBOURS, Yann a Daniel KIRSCHEN. *What is spinning reserve?* [online]. Manchester, 2005 [cit. 2018-12-02]. <https://pdfs.semanticscholar.org/1659/97fa9a722b4d8ca3aa617de1426abf6affeb.pdf>. The university of Manchester.
- [96] REIHANI, Ehsan, Saeed SEPASI, Leon R. ROOSE a Marc MATSUURA. Energy management at the distribution grid using a Battery Energy Storage System (BESS). *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* [online]. Elsevier, 2016, 77(C), 337-344 [cit. 2018-12-01]. DOI: 10.1016/j.ijepes.2015.11.035. ISSN 0142-0615.
- [97] ROOIJ, Dricus de. *Base Load and Peak Load: understanding both concepts* [online]. 9 June 2015 [cit. 2019-02-13]. <https://sinovoltaics.com/learning-center/basics/base-load-peak-load/>
- [98] ROSEN, Marc A. *Energy Storage*. New York: Nova Science Publishers, Incorporated, 2012. ISBN 9781613247082.
- [99] RWE starts up P2G plant with ITM electrolyser. *Fuel Cells Bulletin* [online]. Elsevier, 2015, 2015(8), 1-1 [cit. 2019-01-06]. DOI: 10.1016/S1464-2859(15)30205-4. ISSN 1464-2859.
- [100] ŠÁCHA, Tomáš. Grafický popis elektroenergetického systému ve vybraných oblastech [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119162>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.
- [101] SANNOMIYA, T., H. HAYASHI, T. ISHII a R. IKEDA. Test results of compensation for load fluctuation under a fuzzy control by a 1 kWh/1 MW SMES. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on* [online]. USA: IEEE, 2001, 11(1), 1908-1911 [cit. 2018-11-28]. DOI: 10.1109/77.920223. ISSN 1051-8223.
- [102] SCHMIDT, Eric. The Latest in Vehicle to Grid (V2G) Charging. *Fleetcarma* [online]. 25 October 2017 [cit. 2019-01-05]. <https://www.fleetcarma.com/latest-vehicle-grid-v2g-charging/>
- [103] SCHREIER, Martin. ČEZ odstartoval pilotní projekt 3MW baterie ve službách české energetiky. *Skupina ČEZ: Pro média* [online]. 24. 5. 2018 [cit. 2019-01-04]. <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/6401.html>
- [104] SECTORAL PROFILE - TRANSPORT: CHANGE IN DISTANCE TRAVELLED BY CAR. *ODYSSEE-MURE* [online]. [cit. 2019-05-14]. <http://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/distance-travelled-by-car.html>
- [105] SHAKIR, Taenaz, John BENNY a David FRENCH. Vistra to buy Dynegy in \$1.7 billion Texas power producer deal. *Reuters* [online]. 30 October 2017 [cit. 2019-01-05]. <https://www.reuters.com/article/us-dynegy-m-a-vistra-energy/vistra-to-buy-dynegy-in-1-7-billion-texas-power-producer-deal-idUSKBN1CZ167>
- [106] Siemens dodá největší akumulární bateriové zařízení v České republice, bude v energetickém zdroji C-Energy Planá. *Siemens: ingenuity for life* [online]. 24. 10. 2018 [cit. 2019-01-04]. <https://www.siemens.cz/press/siemens-doda-nejvetsi-akumulacni-bateriove-zarizeni-v-ceske-republice-bude-v-energetickem-zdroji-c-energy-plana>

- [107] *Solar Global Storage: Bateriový systém pro nadbytečnou energii* [online]. [cit. 2019-01-03]. <http://www.solarglobal.cz/sgstorage/>
- [108] *SOLSOL: solar solutions* [online]. [cit. 2019-05-10]. <http://www.solsol.cz>
- [109] Spinning Reserve. *Energy storage association* [online]. [cit. 2018-12-02]. <http://energystorage.org/energy-storage/technology-applications/spinning-reserve>
- [110] Statistické údaje: Obec Moravany. *Moravany: Oficiální web obce* [online]. 10.3.2015 [cit. 2019-04-01]. <http://www.moravanyubrna.cz/statisticke-udaje/d-1088/p1=52>
- [111] *Statistika II. pol./2018 (k 1.1.2019): Centrální registr vozidel* [online]. Ministerstvo dopravy, 2019 [cit. 2019-05-08]. [https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-II-pol-2018-\(k-1-1-2019\)?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel](https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-II-pol-2018-(k-1-1-2019)?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel)
- [112] ŠTEFEK, Martin. Potencionální produkce elektrické energie ze střech fotovoltických elektráren v obci do 3000 obyvatel. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119165>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar
- [113] STRYKOVÁ, Nikol, Alena HADRABOVÁ a Antonín DVOŘÁK. Možnosti využití vodní energie na příkladu přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně. *Možnosti využití vodní energie na příkladu přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně* [online]. Vysoká škola ekonomická v Praze [cit. 2018-11-05].
- [114] STUHLÍK, Jan. Český E.On má velkou baterii, zatím s ní ale nemůže podnikat Více na <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cesky-e-on-ma-velkou-baterii-zatim-s-ni-ale-nemuze-podnikat-1343268>. *E15.cz* [online]. 12. února 2018 [cit. 2019-02-15]. <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cesky-e-on-ma-velkou-baterii-zatim-s-ni-ale-nemuze-podnikat-1343268>
- [115] *SunPrimo PM060PW I: Poly-krystallický fotovoltaický panel* [online]. [cit. 2019-05-10]. http://admin.solsol.cz/wp-content/uploads/2018/05/SUNPRIMO-PM060PW1_CZ.pdf
- [116] Technologie Power-to-Gas (P2G). *ÚJV Řež* [online]. [cit. 2019-01-06]. <https://www.ujv.cz/cs/akordeonovy-seznam/technologie-power-to-gas-p2g-11354>
- [117] *Technology Roadmap: Energy storage* [online]. 75739 PARIS CEDEX 15: IEA Publications, 2014 [cit. 2019-05-23]. www.iea.org
- [118] TRAMBA, David. Největší bateriové úložiště v Česku postaví Siemens. Vyjde na 67 miliónů. *Euro* [online]. 19. 10. 2018 [cit. 2019-01-04]. <https://www.euro.cz/byznys/nejvetsi-bateriove-uloziste-v-cesku-postavi-siemens-vyjde-na-67-milionu-1425883>
- [119] *Územní teploty* [online]. Český hydrometeorologický úřad [cit. 2019-05-09]. <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- [120] V roce 2018 přibýlo na českých silnicích téměř 1 000 osobních elektromobilů a plug-in hybridů. *Centrum dopravního výzkumu* [online]. Ostrava, 9.1.2019 [cit. 2019-05-09]. <https://www.cdv.cz/tisk/v-roce-2018-pribylo-na-ceskych-silnicich-temer-1-000-osobnich-elektromobilu-a-plug-in-hybridu/>

- [121] VOBOŘIL, David. Němečtí síťoví provozovatelé plánují výstavbu obřích baterií s výkonem odpovídajícím jadernému bloku. *Oenergetice* [online]. 22. únor 2019 [cit. 2019-02-26]. <https://oenergetice.cz/prenos-elektriny/nemecti-sitovi-provozovatele-planuji-vystavbu-obrich-baterii-vykonem-odpovidajicim-jadernemu-bloku/#comments>
- [122] VOBOŘIL, David. Podpůrné služby: přenos elektřiny. *O energetice* [online]. 22 června 2015 [cit. 2018-12-01]. <http://oenergetice.cz/elektrina/podpurne-sluzby-prenos-elektriny/>
- [123] VOBOŘIL, David. Přecherčpávací vodní elektrárny v České republice. *OEnergetice* [online]. 3. ledna 2017 [cit. 2018-11-05]. <http://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektrarny-v-ceske-republice/>
- [124] WEBER, Adam Z. Redox flow batteries: a review. *Journal of Applied Electrochemistry* [online]. Oak Ridge National Laboratory (ORNL), 2011, 41(10) [cit. 2018-11-22]. DOI: 10.1007/s10800-011-0348-2. ISSN 0021-891X.
- [125] WOOD, A.J. a B. WOLLENBERG. Power generation operation and control — 2nd edition. *Fuel and Energy Abstracts* [online]. Elsevier, 1996, 37(3), 195-195 [cit. 2018-12-02]. DOI: 10.1016/0140-6701(96)88715-7. ISSN 0140-6701.
- [126] YANG, Qifan;li. Li metal batteries and solid state batteries benefiting from halogen-based strategies. *Energy Storage Materials* [online]. Elsevier B.V, 2018, 14, 100-117 [cit. 2019-01-09]. DOI: 10.1016/j.ensm.2018.02.017. ISSN 2405-8297.
- [127] YANG, Zhenguang, Jianlu ZHANG, Michael C W KINTNER-MEYER, Xiaochuan LU, Daiwon CHOI, John P LEMMON a Jun LIU. Electrochemical energy storage for green grid. *Chemical reviews* [online]. 2011, 111(5), 3577 [cit. 2018-11-22]. DOI: 10.1021/cr100290v.
- [128] YOSHINO, Akira. The Birth of the Lithium-Ion Battery. *Angewandte Chemie International Edition* [online]. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2012, 51(24), 5798-5800 [cit. 2018-10-20]. DOI: 10.1002/anie.201105006. ISSN 1433-7851.
- [129] YUKSEL, Tugce, Jeremy j MICHALEK a Tugce YUKSEL. Effects of regional temperature on electric vehicle efficiency, range, and emissions in the United States. *Environmental science & technology* [online]. 2015, 49(6), 3974-3980 [cit. 2019-05-09]. DOI: 10.1021/es505621s. <http://search.proquest.com/docview/1664447676/>
- [130] Zákon č. 458/2000 Sb. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2019-01-01]. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458/historie>
- [131] ZHU, Wenhua H., Ying ZHU, Zenda DAVIS a Bruce J. TATARCHUK. Energy efficiency and capacity retention of Ni–MH batteries for storage applications. *Applied Energy* [online]. Elsevier, 2013, 106, 307-313 [cit. 2018-11-21]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.12.025. ISSN 0306-2619.
- [132] ZPRÁVA O OČEKÁVANÉ DLOUHODOBÉ ROVNOVÁZE MEZI NABÍDKOU A POPTÁVKOU ELEKTRINY A PLYNU: 2017 [online]. OTE, 2018 [cit. 2019-05-10]. https://www.ote-cr.cz/en/about-ote/files-annual-reports/Expected_balance_report_2017.pdf